

552.731

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 11 月 4 日 (04.11.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/095549 A1

(51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, G03F 7/20
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005134
(22) 国際出願日: 2004 年 4 月 9 日 (09.04.2004)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2003-107776 2003 年 4 月 11 日 (11.04.2003) JP
特願 2003-148362 2003 年 5 月 26 日 (26.05.2003) JP
特願 2003-353433 2003 年 10 月 14 日 (14.10.2003) JP
特願 2003-363460 2003 年 10 月 23 日 (23.10.2003) JP

INC.) [US/US]; 75013 テキサス州, アレン市, セン
チュリーパークウェイ 415 Texas (US).

(71) 出願人 および
(72) 発明者: 大見 忠弘 (OHMI, Tadahiro) [JP/JP]; 〒
9800813 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋 2 丁目 1 -
1 7 - 3 0 1 Miyagi (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 須川 成利 (SUG-
AWA, Shigetoshi) [JP/JP]. 柳田 公雄 (YANAGIDA,
Kimio) [JP/JP]. 武久 究 (TAKEHISA, Kiwamu) [JP/JP].

(74) 代理人: 後藤 洋介, 外 (GOTO, Yosuke et al.); 〒
1050003 東京都港区西新橋 1 丁目 4 番 1 0 号 第三
森ビル Tokyo (JP).

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ボールセ
ミコンダクターインク. (BALL SEMICONDUCTOR

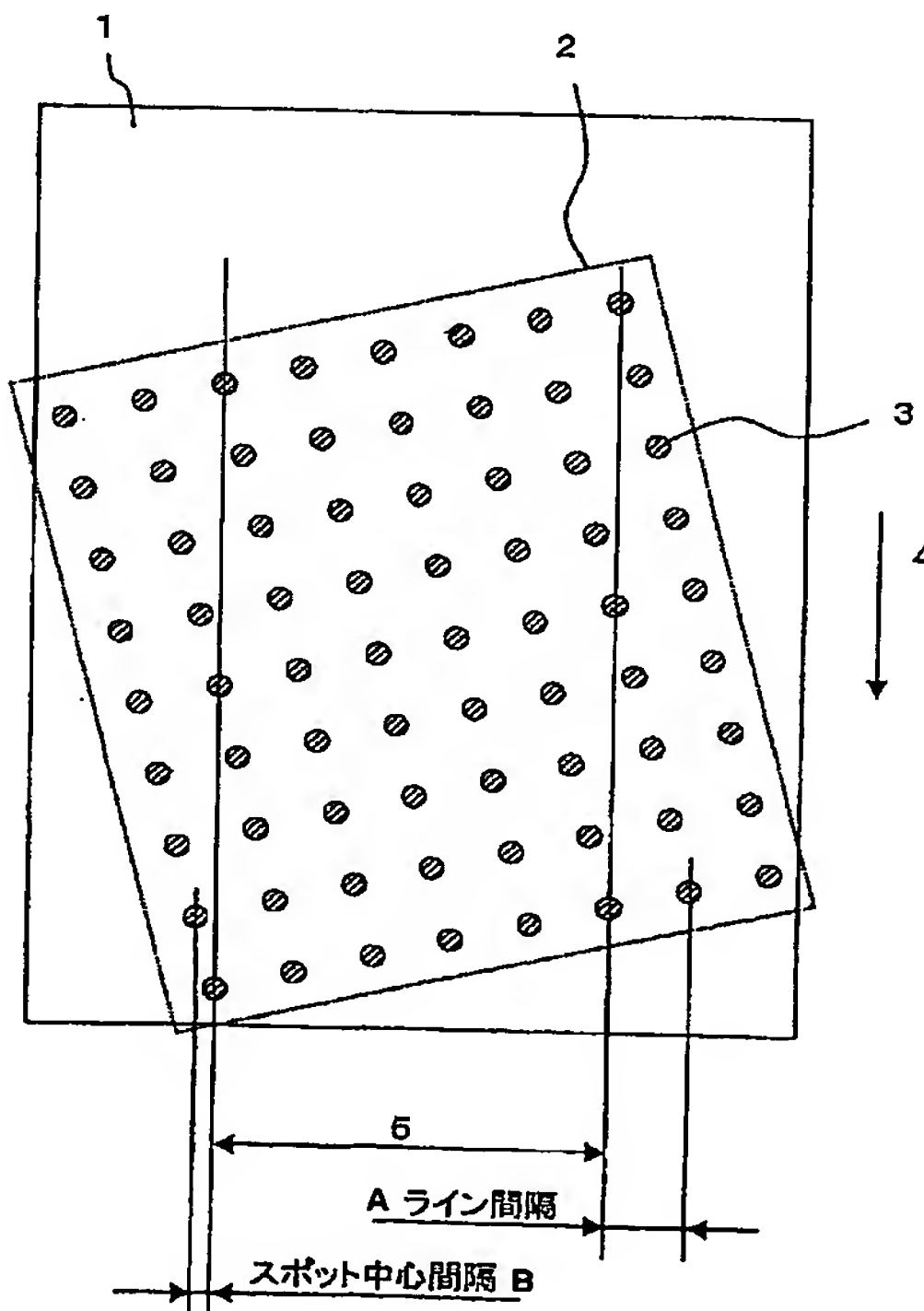
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,

[続葉有]

(54) Title: PATTERN PLOTTING DEVICE AND PATTERN PLOTTING METHOD

(54) 発明の名称: パターン描画装置及びパターン描画方法

100



A...LINE INTERVAL
B...SPOT CENTER INTERVAL

(57) Abstract: There is provided a pattern plotting method for pot-
ting a pattern on a substrate by using a projection pattern output from
a mirror device having fine mirrors arranged in the 2-dimensional
way. Each of the fine mirrors is controlled to turn ON and OFF and
the projection pattern from the mirror device is partially overlapped
at least in the 1-dimensional direction for exposure, thereby accu-
rately controlling the exposure of intermediate light intensity.

(57) 要約: 二次元的に配列された微小ミラーを含むミラー
デバイスから出力された投影パターンを使用して、基板上
にパターンを描画するパターン描画方法において、各微小
ミラーをオンオフ制御すると共に、ミラーデバイスからの
投影パターンを少なくとも一次元方向に部分的にオーバ
ラップさせて露光を行うことにより、中間光量露光を正確
に制御することができる。

WO 2004/095549 A1



BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

パターン描画装置及びパターン描画方法

技術分野

本発明は、半導体集積回路製造時の露光工程で用いられるマスクレス描画装置、露光装置で用いられるマスクを製造するために用いられるマスク描画装置等に適用できるパターン描画装置及びパターン描画方法に関する。

背景技術

一般に、半導体集積回路の製造時の露光工程では、回路パターンが描かれたマスク（レチクルと呼ばれることもある。）を用いてレジストが塗布されたウエハ上に回路パターンを描画させる（パターン露光と呼ばれる。）必要があり、そのための装置は露光装置あるいは露光機と呼ばれる。ただし、マスクを用いずに回路パターンをウエハ上に直接描画する露光機もあり、これはマスクレス露光機と呼ばれている。

一方、マスクを製造するには、マスクの基板となる石英板などの表面に、目的とする回路パターンに相当するパターン状に露光光を通過させるように遮光用のクロム膜などを付ける必要がある。このクロム膜などは、パターン露光によって形成され、そのための装置はマスク描画装置と呼ばれる。マスク描画装置の手法には、電子ビームを用いた電子ビーム描画が一般的であり、そのための装置は電子ビーム描画装置（以下、EB描画装置と示す。）と呼ばれている。

ただし、マスク描画装置には、EB描画装置の他に、紫外域のレーザ光（以下、紫外レーザ光と略す。）を用いてパターン描画（すなわちレジストが塗布されたマスク基板に対してパターン露光）する手法に基づく装置（レーザビーム描画装置と呼ばれることがある。）も製品化されている。

この種の描画装置として、従来、微小なミラーを二次元配列状に多数並べた反射鏡表示素子（デジタルマイクロミラーなどと呼ばれるミラーデバイス）を用いて、

これに紫外レーザ光を照射し、反射光をパターンの的に制御して、マスク基板上にパターン描画するレーザビーム描画装置が提案されている。このレーザビーム描画装置では、回路パターンの中の一部のパターンを一括して露光できることから、処理速度が速い特徴があることが知られている。なお、これに関しては、例えば、Proceedings of SPIE, Vol.4186, PP.16-21、あるいは、USP6,428,940 において示されている。

これによると、ミラーデバイスを用いた従来のレーザビーム描画装置では、およそ100万個（約500×約2000個）の微小ミラーを用いたミラーデバイスが用いられ、各微小ミラーは16ミクロン前後の大きさである。これを縮小投影光学系によって、マスク基板上に1/160の大きさに縮小投影させている。その結果、1つの微小ミラーに対応するパターンは一辺0.1ミクロン、すなわち100nmの正方形になる。ただし、マスクを描画する場合、一般に、設計上の最小寸法は1から4nmと小さく、これは最小グリッドと呼ばれる。そこで、一辺100nmのミラー投影パターンより遥かに小さいパターン形状を実現するために、投影されるパターンに照射させる光量を変化させることが行われている。例えば、前記文献によると、光量を64段階に変化させる（中間光量を利用する）ことで、最小グリッドとしては、100nmの1/64である1.56nmに対応させている。

このように、中間光量を利用して1つの微小ミラーの縮小投影パターンよりも小さなサイズの最小グリッドに対応させる従来手法では、ミラーデバイスにおける各微小ミラーの偏向角度を制御し、それによって、投影されるレーザ光の強度を変化させている。なお、これに関しては、もしも、最小グリッドである1.56nmごとに投影される微小ミラーを移動（すなわち、マスク基板のスキャン）するように露光するならば、スキャンスピードが1/64に低下し、しかも、スキャン回数も64倍に増大するため、描画時間は64×64倍と極めて長くなってしまふ。すなわち、中間光量を利用することが、レーザビーム描画装置において描画時間を短縮するためには不可欠であるとされている。

発明の開示

前述したように、中間光量を出すためにミラーの偏向角を制御する従来手法では、各微小ミラーに印加する電圧を正確に制御する必要がある。ところが、前記のように中間光量を64段階に変化させるために、電圧を64段階に細かく分割して制御する必要がある、しかもレーザの繰返し数の2000Hzに対応する0.0005秒以下の短い時間の少なくとも数分の1の時間内に、およそ100万個もの微小ミラーの全ての電圧を正確に制御することが困難であった。その結果、実際に印加される電圧が正確に64段階にならず、ばらつきを生じて実質的に光量は数段階しか制御できない場合があった。

本発明の目的は、ミラーデバイスを用いたパターン描画装置において、各微小ミラーに印加する電圧の中間値を用いて制御せずに、中間光量を利用できるパターン描画装置を提供することである。

本発明の他の目的は、上記中間光量を実現させることができる部材及び当該部材を備えたパターン描画装置を提供することである。

本発明の更に他の目的は、ミラーデバイスの各微小ミラーをオンオフ制御するだけで中間光量を実現できるパターン描画方法を提供することである。

課題を解決するための手段

前記目的を達成するために、ミラーデバイスなどの二次元配列状の光制御素子とマイクロレンズアレイを用いることで、多数のスポットの集合体から成るパターンを投影できるパターン投影装置を含み、前記パターン投影装置から基板に投影される前記パターンにおいて、前記基板を、前記多数のスポットの並びに対して、相対的に斜めに移動させることで、時間的に異なる照射による前記パターンにおけるいくつかのスポットが、前記基板上で同一地点に重なるように照射させたものである。なお、ここで基板とは、本発明によってマスクレス露光機を構成する場合はウエハのことであり、マスク描画装置を構成する場合はマスク基板のことである。

これによると、複数回の照射で一つのスポット位置を露光するようにできるので、重複させる照射回数の制御によって中間光量を出すことが可能になる。それによっ

て、各微小ミラーの制御電圧はONとOFFとの2段階でよく、電圧制御が困難になることはない。なお、このように基板上の同一地点への照射回数の制御で中間光量を制御できるのは、前記のようにマイクロレンズによって、スポットの直径を、スポット間隔に比べて小さくできるため、さらに基板を斜めに移動させることに起因する。

図面の簡単な説明

図1は本発明の第1の実施形態に係る第1の実施例の説明図である。

図2は本発明の第1の実施例におけるパターン投影装置の構成図である。

図3は本発明による描画時間の算出方法を説明するための図である。

図4は本発明の第1の実施形態に係る第2の実施例の説明図である。

図5はパターン描画を説明するための図である。

図6は本発明によるパターン描画を説明するための図である。

図7は本発明のパターン描画装置によって描画された大型マスクを用いたマスク描画装置の構成図である。

図8(a)及び(b)は本発明に係る中間光量を利用しない場合及び本発明に係る中間光量を利用する場合をそれぞれ示す図である。

図9は図2に示したパターン投影装置に使用されるピンホール板の製造法の一例を説明する図である。

図10は本発明の第2の実施形態に係る第1実施例におけるパターン描画装置の構成図である。

図11は本発明によるパターン描画方法を説明する図である。

図12(a)及び(b)は本発明によるパターン描画方法の例を説明する図である。

図13は本発明の第2の実施形態に係る第2実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図14は本発明の第2の実施形態に係る第3実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図 1 5 は本発明の第 4 実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図 1 6 は本発明の第 5 実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図 1 7 は本発明の第 6 実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図 1 8 は本発明の第 3 の実施形態に係る実施例におけるパターン描画装置の構成を示す図である。

図 1 9 はグレースケールを適用するための多重露光を説明するための図である。

図 2 0 は本発明のグレースケールにおける多重度算出を説明するための図である。

図 2 1 は本発明の第 4 の実施形態の第 1 の実施例に係るパターン描画装置の構成を示す図である。

図 2 2 は図 2 1 に示されたパターン描画装置に用いられるピンホール板の構成を示す図である。

図 2 3 はピンホール板の製作手法を説明する図である。

図 2 4 は本発明の第 4 の実施形態に係るパターン描画装置を示す図である。

図 2 5 は本発明におけるグレースケールを実現する手法を説明する図である。

発明を実施するための最良の形態

図 1 と図 2 を参照して、本発明の第 1 の実施形態に係る第 1 の実施例を説明する。図 1 は本発明の第 1 の実施例としてのパターン描画装置 1 0 0 による描画の説明図であり、図 2 は、パターン描画装置 1 0 0 の一部を構成するパターン投影装置 1 0 の構成図である。図 2 に示したように、パターン投影装置 1 0 には、二次元配列状の光制御素子としてミラーデバイス 6 が用いられており、図 2 では省略して描かれているが、ここでは 2048×512 個（すなわち約 1 0 0 万個）の微小ミラーが約 1 6 ミクロンピッチで縦横に並んでいる。ミラーデバイス 6 から進むレーザ光 L 1 は、マイクロレンズアレイ 7 を通って小さなスポットに集光された後、ピンホール板 8 に与えられる。更に、ピンホール板 8 の穴を通して出射するレーザ光 L 2 がレンズ 9 a と 9 b とを通過して、基板 1 上に投影される。レンズ 9 a と 9 b は投影光学系を構成しており、ピンホール 8 の位置の光学像を基板 1 上に投影するよう

になっている。この構成により、図1に示されたように、基板1におけるミラーデバイス投影領域2には、互いに離れたスポットの集合体パターンが基板1に投影される。

本発明では、図1に示したように、縦横マトリックス状に並んだスポット3の集合体の外部輪郭を定めるミラーデバイス投影領域2は、基板1に対して、即ち、基板1の移動方向4に対して斜めに配置される。換言すれば、マトリックス状のスポット3の集合体パターンの行又は列が基板1の移動方向に対して斜めに配置されている。この状態で、パターン露光の際、基板1を移動方向4に沿って移動させる。この時、有効露光幅5内に位置するスポット3においては、複数個が基板1上で同じ場所に重なるようになる。すなわち、移動方向4の方向から基板1を眺めると、複数のスポット3が、横方向に関して同じ座標位置にあるから、これらの複数スポット3は移動方向4に移動すると、同じ場所で重なるようになる。

図1の例では、3個のスポット3が同じ位置に重なる場合が描かれている。図1に描かれているスポット3の集合体は、1回の照射（1ショット）により形成された瞬間であるが、基板1を、スポット3の直径の半分程度の長さだけ移動させる度に、照射が行われると、これにより、基板1の全面を繋がったスポットで塗りつぶすことが可能になる。

このような照射を行った場合、図1に示された例では、3個のスポットが基板1上で同じ位置に当たる（すなわち、露光する）ように、基板1の移動速度を調整すると、基板1における有効露光幅5内では、全てのスポットが3回重なるようにできる。本発明では、このことを利用して、基板1上への各スポットの照射回数の有・無の制御（つまり、ミラーデバイス6によって、レーザ光を基板1に向わせるか、向わせないかの2つの制御）を行うだけで、各スポット位置において、露光量を3段階（照射無しを入れると4段階）に制御できるようになる。

ただし、実際のミラーデバイス6は、 2048×512 個の微小ミラーを有するため、例えば、64個のスポットが同じ位置に照射するように並べることができ、それにより各スポットにおいて64段階に露光量を制御できる。なお、これを階調数として、例えば、基板における 132×100 mmの描画エリアの描画時間は、

図3 (a) に示した公式から算出される。なお (a) における符号の説明は (b) に示した。設計例として、(c) に示したように、ミラーデバイスの変調数（周波数）が 2000 Hz 、基板上の最小グリッド d を 1.56 nm とする場合、実質的には $1.56 \times 64 = 100\text{ nm}$ ごとにスポットがくるように基板を移動させればよく、これによって、算出結果は (d) に示したようになり、描画時間は約 12 時間となる。

これに対して、もしも中間光量を利用しないならば、描画エリア全体を最小グリッドごとにスポットがくるように基板を移動させる必要が生じ、 $0.132 \times 0.100 / (1.56\text{ nm})^2 = 5.42 \times 10^{15}$ 個の異なる位置にスポットが必要になる。これによると、 2048×512 個の微小ミラーが 2000 Hz で動作しても、描画時間は 718 時間となり、中間光量を利用する場合の約 60 倍の時間が掛かる。

以上より、本発明のパターン描画装置では、中間光量を利用するため、基板を高速に描画できるだけでなく、従来のように微小ミラーを電圧で制御する必要もないことから、ミラーデバイスの制御手法がシンプルになり、誤動作や調整不良が生じにくく、正確に階調を出すことが可能になった。

次に、図4を参照して、本発明のパターン描画装置における他の実施例を説明する。図4は、図示していない3台のパターン投影装置を有するパターン描画装置200によるパターン描画の説明図である。3台のパターン投影装置から基板20へ投影されるミラーデバイス投影領域21a、21b、21cの中では、基板20を移動させることで、有効露光領域22a、22b、22cにおいては設定した階調数に中間光量を出せるが、それ以外の領域では設定した階調数に満たない。そこで、設定した階調数以下の露光領域を互いに重なるように、3台のパターン投影装置を配置したものである。これによって、基板21を移動方向24に沿って移動させると、階調数不足領域23a、23bにおいても、2つのミラーデバイス投影領域が重なるため、設定した階調数だけスポットを重ねることが可能になる。

ところで、以上のような多数のスポットの集合体から成るパターンを投影できるパターン投影装置10によって露光する場合の問題として、スポットが丸形である

場合、多数のスポットを密接させて露光すると、図5（a）に示したように、スポット間が露光されないことから、（b）に示したように、隣接するスポットが重なるように露光する必要がある。ところが、その結果、中間光量を出さずに、全てを照射しても、スポットが重なる回数が位置によって異なるため、露光が多少不均一になる場合がある。

そこで、スポット形状として六角形にしてもよい。これによると、図6に示すように、六角形では密接に並べる場合に、同じスポット回数で全面を埋めることが可能である。また、同じ位置に複数ショットで露光して中間光量を出す場合に、ショット数の制御が容易になる。また、六角形のスポットを実現するには、例えば、図2に示したパターン投影装置10におけるピンホール板8の穴を六角形にすればよい。なお、図6には六角形を示したが八角形でもよい。

次に、図7を参照して、図2に示したパターン描画装置100によって描画された基板を利用した実施例を説明する。図7に示したマスク描画装置300は、パターン描画装置100によって描画された大型マスク30を用いて、マスク基板31上に一般の露光装置用のマスクを描画する装置である。すなわち、通常のマスキの数倍のサイズの大型マスク30に描画されたパターンを縮小投影光学系32によって、マスク基板31に転写したものである。なお、大型マスク30は、通常のマスキよりも大きいため、自重によってたわむことを抑制するために垂直に固定されている。そこで、45度反射鏡33を用いており、これによって、大型マスク30に照射されるレーザ光L30において、大型マスク30を通過するものは、45度反射鏡33で反射して、縮小投影光学系32を通過でき、マスク基板31を照射する。

本実施例のように、通常のマスキを描画するために用いる大型マスク30の描画に、本発明のパターン描画装置を用いたものであり、その効果としては、本発明のパターン描画装置は、前述したように、中間光量の利用によって高精度でパターン描画できるだけでなく、非常に高速にパターン描画できる。したがって大型マスク30に対しても描画時間が膨大になることはない。

なお、ここで本発明による中間光量を利用の有無によるパターン描画時間の違い

を、図 8 を参照して説明する。中間光量を利用しない場合は、(a) に示したように、設計上の最小グリッド(d)ごとに露光のスポットを照射する必要があるため、描画面積を S とすると、スポット数は、 S/d^2 (回) となる。これに対して、中間光量を利用すると、(b) に示したように、スポット間隔が最小グリッド(d)の階調数(G)倍だけ広げることができる。その結果、描画面積 S におけるスポット数は、一見して、 $S/(G \cdot d)^2$ (個) 有るように見えるが、これらのスポット全てにおいて、最高 G 回重なっているため、スポット総数は、 $S/(G \cdot d)^2 \times G = S/d^2 / G$ となる。すなわち、(a) に示したスポット数の $1/G$ になるため、描画時間は階調数で割った数だけ短縮できる。

ところで、図 2 に示したパターン投影装置 100 におけるピンホール板 8 の製造法の一例を図 9 に示す。ここではピンホール板 8 に正方形の穴をレーザ光によって空ける場合を示した。図示していないエキシマレーザからのレーザ光 L50 は、正方形に穴の空いている金属マスク 51 に当たる。金属マスク 51 の穴を通過したレーザ光 L51 は、集光レンズ 52 を通過して、ピンホール板 8 に当たる。この際に、集光レンズ 52 は縮小投影光学系を形成しており、金属マスク 51 の位置の像をピンホール板 8 に縮小投影するようになっている。これにより、ピンホール板 8 に照射されるレーザ光 L52 は小さな正方形になり、正方形の穴が空くようになる。

また、ピンホール板 8 は、図示していない XY ステージ上に載せられており、それによって、図で X 方向にスキャンされ、Y 方向にはステップするようになっている。したがって、繰返しパルス動作を行うレーザ光 L50 によって、ピンホール板 8 に多数の正方形の穴が空くようになる。

なお、本実施例では、穴加工にエキシマレーザを用いたが、その理由として、エキシマレーザは波長が短く、金属表面での反射率が低くなって金属板を加工しやすいだけでなく、パルス幅が 10 ns 前後と短いため、ピンホール板 8 を連続的に移動しながら、レーザ照射をしても、パルス幅の時間内に移動する距離が数 1 nm 以下と小さくできるため、正方形の穴が長く延びることがない。

なお、利用できるレーザとしては、エキシマレーザの他に、フッ素レーザや、フェムト秒レーザなどのように金属への加工性能が良好であり、かつ繰返し動作が可

能なレーザであればよい。また、上記した実施例では、基板を移動方向に対して移動させる場合について説明したが、ミラーデバイス投影領域を基板に対して斜めに移動させても良い。

図10及び図11を参照して、本発明の第2の実施形態に係る第1の実施例を説明する。図10は本発明の第1の実施例としてのパターン描画装置100の構成図であり、図2は、パターン描画装置100によるパターン描画方法の説明図である。

図1に示したパターン描画装置100は、大別して、マスクパターン投影部101、XYステージ102、マスクパターン出力装置103、及び紫外光源である波長変換型固体レーザ104とで構成されている。波長変換型固体レーザ104は、10000Hzの繰り返しパルス動作を行うYAGレーザの第3高調波が用いられており、波長355nmのパルス状のレーザ光L1が取り出される。レーザ光L1は、マスクパターン投影部101内に入り、ミラー105で反射して、二次元配列状の微小ミラーであるミラーデバイス106に入射する。ミラーデバイス106、ここでは2048×512個（すなわち約100万個）の微小ミラーが約16ミクロンピッチで縦横に並んでいる。ミラーデバイス106は、マスクパターンデータ出力装置103によって、各微小ミラーの偏向角が10000Hzのフレーム速度で制御されるが、本発明では、2方向のみに制御（すなわち、ON/OFF制御）される。これによって、露光に利用する方向に進むものがレーザ光L2となる。レーザ光L2はレンズ107a、107bを進み、マスク基板108上の投影パターン109として転写される。すなわち、レンズ107aと107bとは縮小投影光学系を形成しており、ミラーデバイス106の面を、i線用レジストが塗布されたマスク基板108上に縮小投影するようになっている。また、マスク基板108はXYステージ102上に載せられており、これによって、マスク基板108上の全域に、投影パターン109を移動させることができ、マスク基板108の全面にパターン描画できる。

ミラーデバイス106上のパターンをマスク基板108上に転写させる際に、本発明では図2に示したような描画方法を用いている。図11では、図10におけるX方向に投影パターン109を移動していく様子を時系列に示したものである。パ

ターン描画装置 100 では、前述したように 10000 Hz のフレーム数でミラーデバイス 106 上のパターンが制御されるため、0.1 ms ごとに新しいパターンがマスク基板 108 上に投影される。そこで、図 11 (a)、(b)、(c)、(d)、及び (e) には、0.1 ms の時間ごとの投影パターン 109 の位置 (順次、109a、109b、109c、109d、109e) を示した。すなわち、0.1 ms ごとにパルス状のレーザ光 L1 の発生によって、マスク基板 108 上に投影されるパターンが、投影パターンのサイズ (X 方向の幅) の $1/4$ ずつ移動している。なお投影パターン 109 の移動は、XY ステージ 102 によるマスク基板 108 の移動で行われている。

以上より、本実施例では、各投影パターンが、フレーム間で $3/4$ の面積が重なることから、投影パターンは、マスク基板 108 の全面において 4 回オーバーラップするようになる。したがって、4 段階の階調を出すことができるようになっている。ただし、本実施例では説明しやすいように 4 階調の場合を図示したが、実際にはフレーム間で、例えば、 $49/50$ の面積が重なるような 50 階調程度を行うのが好ましい。これによると最小グリッドを数 nm 程度に小さくできるからである。

なお、本実施例では、光源である波長変換型固体レーザ 104 の繰り返し数が 10000 Hz であるため、発生する各パルスがミラーデバイス 106 の各フレームに対応するが、光源の波長変換型固体レーザ 104 を、さらに高い繰り返し数で動作させてもよいが、好ましくは、ミラーデバイス 106 のフレーム数の整数倍がよい。例えば、波長変換型固体レーザ 104 を 20000 Hz で動作させる場合、ミラーデバイス 106 における 1 つのフレームに対して、レーザ光を 2 パルス照射させればよい。これによると、同じパターンに対して、複数のパルス光を供給するため、パルスエネルギーのばらつきによる悪影響が緩和される (すなわち平均化される) 効果がある。

次に、図 10 に示した本実施例におけるマスク基板 108 のパターン描画方法における投影パターン 109 の Y 方向の移動に関して、図 12 を用いて説明する。図 12 (a) には、図 10 に示した投影パターン 109 の輪郭のみをフレームごとに描いたものである。ただし、図 11 に示したように、フレーム間では投影パターン

はオーバーラップするため、図12では、連続する4つの投影パターン109f、109g、109h、109iはY方向に僅かにずらして描いてあるが、実際にはY方向には同じ位置でかまわない。拡大マスクへ投影する際のX方向において1回スキャンが終わると、Y方向に1回ステップし、再度X方向にスキャンしていく。その結果、図12(a)に示したように、投影パターン109fの隣に投影されるパターンは投影パターン109jであり、109fの端と僅かに重なるようにしている。

一方、図12(b)に示したように、4つの投影パターン109f、109g、109h、109iに対する1ステップ後の隣に投影させるパターンを、大きくオーバーラップさせて投影させてもよい。すなわち、投影パターン109k、109l、109m、109nのように3/4づつオーバーラップさせてもよい。これによると、X方向に3/4、Y方向にも3/4オーバーラップさせる結果、マスク基板108の全面を投影し終わると、全ての位置で16回オーバーラップすることになり、16階調を出すことができる。以上のように、X、Yの2方向にオーバーラップさせることで、ステップ後のつなぎ合わせ誤差による異常露光を軽減できる。

次に、図13を参照して、本発明の第2の実施形態に係る第2実施例を説明する。図13に示した本発明のパターン描画装置200は、図10に示した第1実施例のパターン描画装置100と同様な構成要素であるマスクパターン投影部101、マスクパターンデータ出力装置103、及び紫外光源である波長変換型固体レーザー104とを含む。ただし、マスクパターン投影部101によって、直接マスクを描画するのではなく、中間マスク201をパターン描画して、これを縮小投影光学系202によって、XYステージ205上に載せられたマスク基板204上にマスクパターン205を形成する装置である。本実施例では、第1実施例と同様なマスクパターン投影部101を用いて、図11に示したような描画方法を用いており、その結果、中間マスク201を高速に描画するものである。なお、本実施例の特徴としては、実際にマスク基板204に転写されるマスクパターン205が、中間マスク201よりも寸法的に1/4程度に小さくできるため、特に等倍マスクなどを描画するのに適した構成である。

次に、図 1 4 を参照して、本発明の第 2 の実施形態に係る第 3 実施例を説明する。図 1 4 において本発明のパターン描画装置 3 0 0 は、図 1 0 に示した第 1 実施例のパターン描画装置 1 0 0 と類似した構成であるが、光源として用いている波長変換型固体レーザ装置 3 0 4 は、Y A G レーザの第 2 高調波を発生する装置である。したがって、当該レーザ装置 3 0 4 から取り出されるレーザ光 L 3 1 は波長 5 3 2 n m の緑色レーザ光である。レーザ光 L 3 1 は、ミラー 3 0 5 で反射して、ミラーデバイス 3 0 6 に当たり、露光に利用するレーザ光 L 3 2 は下方に進み、レンズ 3 0 7 a に入射する。その結果、波長変換素子 3 1 5 に集光するため、レーザ光 L 3 1 の第 2 高調波である波長 2 6 6 n m の紫外域のレーザ光 L 3 3 が発生する。レーザ光 L 3 3 はレンズ 3 0 7 b、3 0 7 c を通り、K r F レジストが塗布されたマスク基板 3 1 2 の投影パターン 3 0 9 に当たる。なお、投影パターン 3 0 9 は、波長変換素子 3 1 5 内のパターンが拡大投影されているが、波長変換素子 3 1 5 内には、ミラーデバイス 3 0 6 のパターンが縮小投影されている。したがって、投影パターン 3 0 9 は、ミラーデバイス 3 0 6 のパターンが縮小投影されたものである。

本実施例の特徴としては、光源である波長変換型固体レーザ装置 3 0 4 として可視域のレーザ装置を用いていることで、ミラーデバイス 3 0 6 が劣化しにくい効果がある。すなわち、従来、ミラーデバイスを用いたレーザビーム描画装置の問題の一つとして、ミラーデバイスが紫外のレーザ光の照射によって短期間で劣化することがあった。これに対して本実施例ではミラーデバイス 3 0 6 がほとんど劣化しないようになった。

ところで、本実施例の光源である波長変換型固体レーザ装置 3 0 4 の代わりに、銅蒸気レーザを用いてもよい。銅蒸気レーザは、波長 5 1 0 . 6 n m において、5 0 0 0 ~ 3 0 0 0 0 H z の高い繰り返し数で、高い平均出力のレーザ光を発生できることが知られている。そこで、これを光源に用いると、波長変換素子 3 1 5 によって、波長 2 5 5 . 3 n m の紫外域のレーザ光 L 3 3 が発生できる。したがって、K r F レジストが塗布されたマスク基板 3 1 2 をさらに効率よく露光できる。つまり K r F レジストは K r F エキシマレーザの波長 2 4 8 n m において最も良い特性が得られるものが多いが、本実施例のように銅蒸気レーザの第 2 高調波の方が、

YAGレーザの第2高調波よりも、波長が248nmに近いからである。

次に、図15を参照して、本発明の第2の実施形態に係る他の実施例を説明する。

図15は、本発明のパターン描画装置400を上から見た構成図である。

パターン描画装置400では、光源として2台の紫外レーザが用いられ、それぞれ波長変換型固体レーザ404a、及び404bである。各波長変換型固体レーザ404a、及び404bは、同期運転により同じタイミングに、波長355nmで繰り返し数10000Hzで同等のエネルギーのパルスレーザ光を発生するようになっている。波長変換型固体レーザ404aから取り出されるレーザ光L41は、ミラー405aで反射して、ビームスプリッタ410に入射する。一方、波長変換型固体レーザ404bから取り出されるレーザ光L42もビームスプリッタ410に入射する。

ビームスプリッタ410の反射率も透過率はほぼ50%であり、このビームスプリッタ410には、波長355nmのレーザ光が45度の角度で入射している。したがって、ビームスプリッタ410から進むレーザ光L43もL44もどちらも平均パワーになっている。レーザ光L43はマスクパターン投影部401aに供給され、レーザ光L44は、ミラー405bで反射してからマスクパターン投影部401bに供給される。マスクパターン投影部401a、及び401bの構造は、図10に示した第1実施例のマスクパターン投影部101と同様であるので詳細な説明は省略する。

一方、マスクパターン投影部401a、及び401bによってパターン描画される斜線で示したマスク基板408は、XYステージ402におけるYステージ台402a上に載せられており、矢印411で示したように、Y方向にスキャン移動するようになっている。また、Yステージ台402aはXステージ台402b上に載せられており、矢印412で示したように、X方向にステップ移動するようになっている。すなわち、Yステージ台402aのスキャン移動とXステージ台402bのステップ移動によって、マスク基板408の全面が描画できる。

本実施例の特徴は、紫外光源に2台のパルスレーザ（すなわち、波長変換型固体レーザ404a、及び404b）を用いて、取り出されるレーザ光をビームスプリ

ッタ（あるいはハーフミラー）を経由して形成される２本のレーザ光を露光に用いていることである。その結果、２台のパルスレーザにおけるパルスエネルギーばらつきを平均化できるため、２台のマスクパターン投影部４０１ａ及びマスクパターン投影部４０１ｂに供給されるパルスレーザ光のエネルギーばらつきは、波長変換型固体レーザ４０４ａ、及び４０４ｂのパルスエネルギーばらつきよりも小さい。したがって、より均質な露光が行える。

なお、図１５に示された実施例では、紫外光源とマスクパターン投影部とがそれぞれ２台の場合を示したが、各台数はもっと多くてもよく、例えば、どちらも４台ずつ設けることもできる。その場合は、ビームスプリッタは３枚必要になるが、パルスエネルギーばらつきをさらに低減できる効果がある。

なお、パルスエネルギーばらつきを低減できることは、均質な露光ができるだけでなく、従来、ばらつきが大きい場合、多重露光する必要が生じ、すなわち、同じ場所に多数回スキャンすることから、露光に掛かるトータルの時間が長くなる問題があったのを解消できる効果がある。

次に、図１６及び図１７を参照して、本発明の第２の実施形態に係るパターン描画装置の他の２つの実施例を説明する。

図１６は、パターン描画装置５００を上から見た構成図であり、図１７はパターン描画装置６００を上から見た構成図である。どちらの実施例も、図１５に示した実施例と同様に複数台の光源を用いた場合の構成を示したものであり、図１６では３台の光源を用いた場合、図１７は４台の光源を用いた場合に関するおもにレーザ光の合成手法に関するものである。なお、マスク基板５０８、及び６０８を駆動するステージに関しては図１５と同様であり、また、マスクパターン投影部５０１ａ、５０１ｂ、５０１ｃ、６０１ａ、６０１ｂ、６０１ｃ、６０１ｄに関しては図１０と同様な構造であるため、ここでは省略する。

図１６に示したパターン描画装置５００では、３台のパルスレーザ装置５０４ａ、５０４ｂ、５０４ｃが光源として用いられている。

これらは波長変換型固体レーザや、あるいは波長変換型銅蒸気レーザなどが好ましい。各パルスレーザ装置５０４ａ、５０４ｂ、５０４ｃから取り出される紫外域

のレーザ光L 5 1、L 5 2、L 5 3は図で点線に沿って進む。レーザ光L 5 1はミラー5 0 5 aで反射して、反射率5 0 %のビームスプリッタ5 1 0 aに入射して、透過と反射に半分ずつ分かれる。ビームスプリッタ5 1 0 aを透過したレーザ光L 5 1は、透過率約6 6 . 7 %のビームスプリッタ5 1 0 bに入射する。これにより、レーザ光L 5 1の元のエネルギーの約3 3 . 3 % ($= 5 0 \% \times 6 6 . 7 \%$) がレーザ光L 5 4の方に進む。

また、ビームスプリッタ5 1 0 aを反射したレーザ光L 5 1の元のエネルギーの5 0 %は、ミラー5 0 5 bで反射してから、反射率5 0 %のビームスプリッタ5 1 0 cに入射する。一方、ビームスプリッタ5 1 0 bを反射するレーザ光L 5 1の元のエネルギーの約1 6 . 7 % ($= 5 0 \% \times 3 3 . 3 \%$) もビームスプリッタ5 1 0 cに入射する。これにより、ビームスプリッタ5 1 0 cから図で右のレーザ光L 5 5のように進むレーザ光L 5 1は、元のエネルギーの3 3 . 3 % ($= 1 6 . 7 \% \times 5 0 \% + 5 0 \% \times 5 0 \%$) となる。

以上より、レーザ光L 5 4、L 5 5、L 5 6の全てにおいて、レーザ光L 5 1は約3 3 . 3 %含まれることになる。また同様に、レーザ光L 5 2、L 5 3も約3 3 . 3 %含まれる。これによって、レーザ光L 5 4、L 5 5、L 5 6における各パルスエネルギーは、レーザ光L 5 1、L 5 2、L 5 3の各パルスエネルギーの平均値となるため、パルスエネルギーばらつきが小さくなる。

次に、図1 7に示したパターン描画装置6 0 0の構成を説明する。パターン描画装置6 0 0で用いられている4台のパルスレーザ装置6 0 4 a、6 0 4 b、6 0 4 c、6 0 4 dから取り出されるレーザ光L 6 1、L 6 3、L 6 4は、図のように多数のミラー6 0 5 a～6 0 5 h、及び4枚のビームスプリッタ6 1 0 a、6 1 0 b、6 1 0 c、6 1 0 dとによって、分割、合成が繰り返され、4本のレーザ光L 6 5、L 6 6、L 6 7、L 6 8が生成される。本実施例では、4枚のビームスプリッタ6 1 0 a、6 1 0 b、6 1 0 c、6 1 0 dは、全て反射率5 0 % (透過率5 0 %) となっており、レーザ光L 6 1、L 6 2、L 6 3、L 6 4は、それぞれ2回ビームスプリッタに入射するため、全てが1 / 4のエネルギーになって、4本のビームに分配される。したがって、4本のレーザ光L 6 5、L 6 6、L 6 7、L 6 8には、レ

ーザ光L 6 1、L 6 2、L 6 3、L 6 4が全て同等のエネルギーだけ含まれるようになり、すなわち平均化されるため、レーザー光L 6 1、L 6 2、L 6 3、L 6 4におけるそれぞれのエネルギーばらつきが半分以上に低減される。

ところで、図1 5、図1 6、及び図1 7に示した実施例のように、複数のパルスレーザー装置から取り出される複数本のレーザー光を分割、合成する際に用いられるビームスプリッタに関しては、前述した実施例では、入射するレーザー光の偏光方向にはほとんど依存せずに、特定の割合を有する反射と透過に分かれるタイプのものが用いられている。しかし、例えば、一般に偏光ビームスプリッタと呼ばれるように、レーザー光の偏光方向に関して、反射率（あるいは透過率）が大きく異なるタイプのものを用いてもよい。特に波長変換型のレーザーでは、取り出されるレーザー光が直線偏光である場合が多いため、偏光ビームスプリッタによって2本のビームを1本に合成することも可能である。

これによると、2台のパルスレーザー装置から1本のレーザー光を生成できるため、マスクパターン投影部が1台の場合においても、パルスエネルギーばらつきを低減することが可能になる。同様に、4台のパルスレーザー装置によって、2台のマスクパターン投影部に2本のレーザー光を供給することもできる。

図1 8、図1 9、及び図2 2を参照して、本発明の第3の実施形態に係る第1実施例を説明する。図1 8は本発明の第1実施例としてのパターン描画装置1 0 0の構成図である。

図1 8に示したパターン描画装置1 0 0は、大別して、ミラーデバイス1、縮小投影光学系2、X Yステージ3、及び紫外光源である紫外パルスレーザー装置5とで構成されている。紫外パルスレーザー装置5は、ここでは、1 0 0 0 0 H z の繰り返しパルス動作を行うY A Gレーザーの第3高調波が用いられており、波長3 5 5 n m のパルス状の紫外光L 1が取り出される。紫外光L 1は、ミラー6 a、6 bを通り、整形光学系7を通してビーム系が拡大され、ハーフミラー8に当る。ハーフミラー8では、約9 8 %を反射させて、紫外光L 2をミラーデバイス1に当てるようになっている。

ミラーデバイス1はここでは1 0 2 4 × 7 6 8 個（すなわち約8 0 万個）の微小

ミラーが約14ミクロンピッチで縦横に並んでいる。ミラーデバイス1に当たった紫外光の内、反射し、露光に利用する方向に進むもの（すなわち、ミラーデバイス1においてON動作を行う微小ミラーに当たって反射するもの）が紫外光L3となる。紫外光L3は、多数のレンズで構成される縮小投影光学系2を通り、XYステージ3上に載せられているマスク基板4上に照射される。すなわち、縮小投影光学系2によって、ミラーデバイス1の面を、i線用レジストが塗布されたマスク基板4上に縮小投影するようになっている。また、マスク基板4はXYステージ3上に載せられており、X方向のスキャンとY方向のステップによって、マスク基板4上の全域に、ミラーデバイス1からのONの微小ミラーで構成される投影パターンを有する紫外光L4の照射位置を移動させることができ、マスク基板4の全面にパターン描画できる。

ミラーデバイス1上でONとなるパターンをマスク基板4上に転写させる際に、本実施例では図19に示したようなグレースケールを用いている。図19では、図18のXYステージ3におけるスキャン方向（X方向）にマスク基板4が移動していくことで、紫外光L4が、ショットごとにマスク基板4上で少しずつずれた位置に照射される様子を示している。パターン描画装置100では、前述したように10000Hzのフレーム数でミラーデバイス1上のパターンが制御されるため、0.1msごとに新しいパターンがマスク基板4上に投影される。そこで、図19の下方には、0.1msの時間ごとの投影パターンの位置（順次、20a、20b、20c、20d、20e）が示されている。

この例では、0.1msごとにパルス状の紫外光L1の発生によって、マスク基板4上に投影されるパターンが、投影パターンのサイズ（X方向の幅）の1/4ずつ移動している。すなわち、本実施例では、各投影パターンが、フレーム間で3/4の面積が重なることから、投影パターンは、マスク基板4の全面において4回オーバーラップするようになる。したがって、4段階の階調を出すことができるようになっている。ただし、本実施例では説明しやすいように4階調の場合を図示したが、実際にはフレーム間で、例えば、99/100の面積が重なるような100階調程度を行うのが好ましい。この手法によれば、最小グリッドを1nm程度に小さ

くできる。

従来装置では、紫外光L 4が紫外パルスレーザ装置5からのパルスレーザ光であるため、図19の下方に時間ごとに示された各露光パターンの露光量にはばらつきがあり、正確には等しくできず、グレースケールを正確に再現することは困難であった。そこで、本発明では、図18に示したように、紫外光L 2を、ハーフミラー8を僅かに透過させて、そのエネルギーを光検出器9によって測定している。これによって、各パルス毎のエネルギーのデータが取得でき、エネルギーのばらつきを考慮するように、グレースケールにおける重ね合わせるスポットの回数を補正している。すなわち、光検出器からのエネルギー値の信号は、信号線11aによって、グレースケール補正装置10に伝わり、ここにおいて、エネルギーばらつきを補正するようなグレースケールを計算し、計算結果に基づき、信号線11bによって、ミラーデバイス1における各微小ミラーのON、OFF動作を制御している。

より具体的に説明すると、図20に示したように、紫外光の各パルスエネルギーがショットごとに異なっている場合を想定する。この場合、パルスのエネルギー値を随時測定することで、例えば、エネルギー値が目標値よりも少なめになっているパルス列が生じれば、グレースケールを再現する際の重ね合わせのスポット回数を多めに補正し、また、エネルギー値が目標値よりも多めになっているパルス列が生じれば、グレースケールを再現する際の重ね合わせのスポット回数を少なくなるように補正する。

なお、本発明のように最小グリッドで1nm程度に対応するようなグレースケールを実現しているが、この程度の精度でマスク基板4の位置制御をXYステージ3によって行うことは非常に困難である。そこで、本実施例ではミラーデバイス1を圧電素子によって、数nmの微小な位置制御を行っており、それによるマスク基板4上に投影されるパターン位置を制御している。その理由は、マスク基板4上に投影されるパターン位置の移動量はミラーデバイス1の移動量に比べて、縮小投影光学系2の縮小倍率だけ小さくなることから、パターン位置を微小に制御できるからである。

次に、図21を参照して、本発明の第4の実施形態に係る実施例を説明する。

図 2 1 で示された本発明のパターン描画装置 2 0 0 は光パターン発生部 2 3 0、図示していない紫外レーザ装置から供給されるレーザ光を受けて反射する DMD 2 3 1、反射したレーザ光 L 2 1 を受けるマイクロレンズアレイ 2 3 2 を備えている。更に、マイクロレンズアレイ 2 3 2 を通過することで、狭められたレーザ光 L 2 1 はピンホール板 2 3 3 に集光され、ピンホール板 2 3 3 で集光されたレーザ光 L 2 2 はレンズ 2 3 4 a、2 3 4 b で構成される縮小投影光学系 2 3 5 を介して、マザーマスク 2 0 2 上に DMD 投影パターン 2 3 6 を形成する。

ここで、ピンホール板 2 3 3 は石英ガラスに金属膜を形成したものであり、その金属膜は直径 $1\ \mu\text{m}$ 程度の微細な穴を多数有している。ピンホール板 2 3 3 の微細な穴は DMD 2 3 1 の各微小ミラーに対応している。なお、DMD 2 3 1 における各微小ミラーのサイズは約 $14\ \mu\text{m}$ になっている。図示された例では、パターン描画装置 2 0 0 に用いられる光源として、波長 266nm の YAG レーザの第 4 高調波で連続発振する紫外レーザ装置が使用されている。したがって、図示された DMD 2 3 1 には、紫外対応 DMD 駆動機構に組み込まれた方が望ましい。この場合、紫外対応 DMD 駆動機構には、気体等を循環させることにより、DMD 2 3 1 を冷却する構成を備えていることが望ましい。

更に、図 2 2 を参照して、図 2 1 に示されたパターン描画装置 2 0 0 の描画性能を向上させるための部材として、ピンホール板 2 3 3 を説明する。図 2 1 に示されたパターン描画装置 2 0 0 の光パターン発生部 2 3 0 で用いられているピンホール板 2 3 3 には、前述したように、直径約 1 ミクロンの穴が空いた金属膜が石英ガラス上に付けられている。一方、マイクロレンズアレイ 2 3 2 の縮小倍率は約 $1/4$ であるため、ピンホール板 2 3 3 においては、直径約 3.5 ミクロンのスポットとなる。

従来の装置では、ピンホール板 2 3 3 の穴径を 3.5 ミクロンとして、レーザ光を無駄なく取り出していた。ところが、縮小投影光学系 2 3 5 の縮小倍率が $1/5$ 程度であったため、DMD 投影パターン 2 3 6 を形成する各スポットの直径は約 0.7 ミクロンであった。なお、縮小投影光学系 2 3 5 の縮小倍率を上げると、マザーマスク 2 0 2 上でのスポット径を小さくすることができるが、DMD 投影パターン

236 自体が小さくなるため、結果として描画時間が長くなってしまう問題もあった。

これに対して、本発明では、ピンホール板 233 における穴径が約 1 ミクロンであるため、DMD 投影パターン 236 を形成する各スポットの直径は約 0.2 ミクロンになり、DMD 投影パターン 236 自体を小さくせずに、従来よりも微細なパターンが形成できる。ところが、マイクロレンズアレイ 232 で集光されるスポット径が約 3.5 ミクロンであるため、ピンホール板 233 における約 1 ミクロンの穴から出射できるレーザー光の光量の割合は約 8 % 程度であり、約 92 % ものレーザー光がピンホール板 233 の加熱に利用されてしまう。

そこで、本実施例では、ピンホール板 233 におけるピンホールの並びの両側にペルチェ素子 330 a、330 b を取り付け、これによって露光中はピンホール板 233 を強制冷却している。なお、ペルチェ素子 330 a、330 b が取り付けられている面は、ピンホール板 233 において前記金属膜が付けられた面である。金属膜は熱伝導度が大きいため、ペルチェ素子 330 a、330 b によって、ピンホール板 233 全体を冷却する効果が高まるからである。

以上のように本発明のパターン描画装置 200 では、露光中にピンホール板 233 を冷却することができるため、ピンホール板 233 が大きく温度上昇することがないことから、ピンホール板 233 が大きく熱膨張することがない。したがって、露光中に、各ピンホールの相対位置が大きくずれることもなく、DMD 投影パターン 236 が、マザーマスク 202 における設計通りの位置に正確に投影される。

上記したように、本発明に係るパターン描画装置 200 では、特に、マイクロレンズアレイ 232 の縮小倍率を上げなくても、1 ミクロン程度の充分微小な穴を有するピンホール板 233 を利用することができるから、DMD 231 のパターンにおけるスポット径を 0.2 ミクロン程度に小さくできる場合でも、縮小投影光学系 235 には、縮小倍率が $1/4$ から $1/5$ 程度の低い倍率が利用できるようになった。

この構成によれば、縮小投影光学系 235 に通常の i 線露光装置における縮小投影光学系や、KrF 露光装置における縮小投影光学系を利用できる。これらの露光

装置は、露光装置メーカーによって量産されているため、縮小投影光学系を低コストで入手でき、パターン描画装置 210 を低コストで製作できる。尚、i 線露光装置における縮小投影光学系の縮小倍率は $1/5$ であり、KrF 露光装置における縮小投影光学系の縮小倍率は $1/4$ であることは広く知られている。但し、これらの縮小投影光学系の縮小倍率は正確に $1/4$ 、或いは、 $1/5$ ではなく、一般にそれぞれ $1/3.5 \sim 1/4.5$ の間、及び、 $1/4.5 \sim 1/5.5$ の間で調整できる。したがって、本発明では、特に、露光装置用の縮小投影光学系を利用することによって装置の低コスト化を図ることができる。

次に、図 23 を参照して、本実施例のピンホール板 233 の製作手法を説明する。本実施例のピンホール板 233 は、基板である石英ガラスの上に金属膜を付けたものであり、金属膜としては、熱伝導度が高い銅、アルミ、金などが適する。特に、銅はメッキすることで付けることもできるため、安価に製造できる特徴があるため最も好ましい。

この金属膜に穴を空けるには、電子ビーム露光装置 400 を用いるのが好ましい。電子ビーム露光装置 400 では、電子銃 401 から放出される加速電子 410 は電子レンズ 402a によって多少絞られながら進み、丸い穴が空いているアパーチャ 403 に当たる。アパーチャ 403 の穴を通過する電子は、電子レンズ 402b によって、レジスト 404 が塗布されたピンホール板 233（ただしこの時点ではピンホールが空いていないため、金属膜が付いた石英ガラスである。）上に縮小投影され、レジスト 404 が穴状に露光される。全ての穴に対する露光の終了後、レジスト 404 が塗布されたピンホール板 233 は現像され、さらにウェットエッチングされることで、金属膜に微細な穴が多数形成できる。

以上のように、金属膜に穴を形成するために電子ビーム露光装置 400 を利用する理由としては、電子ビームは電子レンズ 402b によって瞬時に数 nm の僅かな距離を補正できるため、基板上に数 nm 以下の高い位置精度でスポット露光することができるからである。

次に、DMD のパターンを直接縮小投影するパターン描画装置における本発明の描画手法を図 24 と図 25 を用いて説明する。図 25 は、パルスレーザ装置 501

とDMD 503を10,000Hzで動作させた場合のDMD投影パターン507の基板505内での投影位置を時系列で(a)～(l)まで示した説明図であり、判り易いように、投影される微小ミラーの数が少なく描いてある。基板505内に投影されるDMD投影パターン507を斜線で示してある。図から判るように、0.1msごとにX方向に投影されるDMD投影パターン507は基板505のスキャンによって、X方向に部分的にオーバーラップしながら投影される。一方、XYステージ506におけるY方向のステップにより、Y方向にも部分的にオーバーラップ転写させながら投影される。例えば、(a)と(e)と(i)とがY方向でオーバーラップ転写することになる。本発明では、このようにDMD投影パターン507をXとYの2方向にオーバーラップ転写させることで、グレースケールを実現したものである。その結果、スキャンとステップの両方の位置の誤差が平均化されるようになり、ステップ方向の繋ぎ合わせ露光が不要となり、異常露光が生じることはない。

産業上の利用可能性

以上、本発明は、半導体集積回路製造時の露光工程で使用するマスクを製造するマスク描画装置、ウエハに直接描画を行うマスクレス露光装置等に適用である。

本発明のパターン描画装置によると、ミラーデバイスに対する微妙な電圧制御を行わずに階調を出せるため、高精度で高速に描画できるだけでなく、中間光量を正確に、かつ誤動作なく発生できる。

請 求 の 範 囲

1. 基板と、二次元配列状の光制御素子およびマイクロレンズアレイを用い多数のスポットの集合体から成るパターンを前記基板に投影するパターン投影装置と、前記基板を前記パターン投影装置に対して相対的に移動させる手段とを含み、前記基板を投影されたパターンを構成する前記多数のスポットの並びに対して斜めに移動させることで、時間的に異なる照射による前記パターンにおけるいくつかのスポットが、前記基板上で同一地点に重なるようにパターン描画させることを特徴とするパターン描画装置。

2. 前記スポットが多角形であることを特徴とする請求項1記載のパターン描画装置。

3. 前記スポットの照射の強度が、一回の照射では中間諧調であり、所定の回数だけ前記基板上で同一地点に重なるように照射されたときに必要な強度となることを特徴とする請求項1記載のパターン描画装置。

4. マトリックス状に配列されたスポットの集合体パターンと基板のいずれかを相対的に所定の移動方向に移動させることにより、前記スポットの集合体パターンを前記基板上に投影するパターン描画方法において、前記スポットの集合体パターンの行又は列を斜めにした状態で前記所定の移動方向に移動させることにより、パターン描画を行うことを特徴とするパターン描画方法。

5. 前記所定の移動方向に前記基板の移動中、前記スポットの集合体パターンを構成するスポットは前記基板の同じ位置に複数回投影されることを特徴とする請求項4記載のパターン描画方法。

6. 前記基板の同じ位置に複数回投影されるスポットを与える光学制御素子はオン、オフ制御されることを特徴とする請求項5記載のパターン描画方法。

7. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスに光源からの露光光を入射し、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを用いて基板上にパターンを描画するパターン描画方法において、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを直接または縮小投影して前記基板上のパターン投影領域の実質的に全面に複数回オーバーラップさせて露光することを特徴とするパターン描画方法。

8. 前記光源として波長変換型固体レーザまたはマイクロ波励起エキシマレーザを用いたことを特徴とする請求項7記載のパターン描画方法。

9. 前記光源として固体レーザの第2高調波または銅蒸気レーザを用い、かつ前記投影光を波長変換して前記基板へ投影することを特徴とする請求項7記載のパターン描画方法。

10. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスと、前記ミラーデバイスに露光光を供給する光源と、マスクパターン被描画用基板と、前記基板をXおよびY方向へ移動する移動機構と、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを用前記基板に直接または縮小して投影する手段と、前記投影パターンを前記基板上のパターン投影領域の実質的に全面に複数回オーバーラップさせて露光する制御手段とを含むことを特徴とするパターン描画装置。

11. 前記光源として波長変換型固体レーザまたはマイクロ波励起エキシマレーザを用いたことを特徴とする請求項10記載のパターン描画装置。

12. 前記光源として固体レーザの第2高調波または銅蒸気レーザを用い、かつ前記投影光を波長変換する波長変換素子をさらに含むことを特徴とする前記請求項10記載のパターン描画装置。

13. 前記波長変換型固体レーザを複数台含み、かつ前記複数の波長変換型固体レーザの少なくとも2台の出力光を平均化して前記ミラーデバイスへ供給する手段をさらに含むことを特徴とする請求項11記載のパターン描画装置。

14. 前記波長変換型固体レーザおよび前記ミラーデバイスを複数台含み、かつ前記複数の波長変換型固体レーザの少なくとも2台の出力光を平均化して前記複数のミラーデバイスへそれぞれ供給する手段をさらに含むことを特徴とする請求項11記載のパターン描画装置。

15. 前記出力光を平均化して前記ミラーデバイスへ供給する手段がビームスプリッタを含むことを特徴とする請求項13または14記載のパターン描画装置。

16. 前記オーバーラップは、前記基板を前記投影パターンのX方向の長さの一部だけX方向へ移動させて露光し、次に前記一部の長さを前記X方向へさらに移動させて露光するという工程を繰り返すことによって行うことを特徴とする請求

項 7 記載のパターン描画方法。

17. 前記基板の前記 X 方向への移動が終了した後、前記基板を前記投影パターンの Y 方向の長さの一部だけ Y 方向へ移動させて前記 Y 方向においても投影パターンの一部が重なるように露光し、次に前記一部の長さを前記 X 方向へさらに移動させて露光するという工程を繰り返すことによって行うことを特徴とする請求項 16 記載のパターン描画方法。

18. ミラーデバイスから出力される投影パターンを用いて基板上にパターンを描画するパターン描画方法において、前記基板上に描画されるパターンを部分的にオーバーラップさせて露光することにより、中間調を描画することを特徴とするパターン描画方法。

19. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスにパルス光源からのパルス状の露光光を入射し、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを用いて基板上にパターンを描画するパターン描画方法において、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを直接または縮小投影して前記基板上のパターン投影領域の実質的に全面を複数回オーバーラップさせて露光し、かつ前記パルス状の露光光のエネルギー値に基づいて、前記基板上のパターン投影領域における前記各微小ミラーが投影される各領域を露光する前記パルス状の露光光の重なる回数を制御することを特徴とするパターン描画方法。

20. 前記ミラーデバイスに入射する露光光の一部を検出することにより、前記露光光のエネルギー値を測定し、測定結果に基づいて、前記微小ミラーを ON、OFF 制御することを特徴とする請求項 19 記載のパターン描画方法。

21. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスにパルス光源からのパルス状の露光光を入射し、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを用いて基板上にパターンを描画するパターン描画方法において、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを前記基板上のパターン投影領域に部分的にオーバーラップさせて複数回露光し、当該露光光の重なる回数によってグレースケールを再現することを特徴とするパターン描画方法。

22. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスにパルス光源から

のパルス状の露光光を入射し、前記ミラーデバイスから出力される投影パターンを用いて基板上にパターンを描画するパターン描画装置において、前記パルス状の露光光のエネルギー値を検出する検出手段と、前記検出手段によって検出された検出結果に基づき、前記パルス状の露光光におけるエネルギーバラツキを補正するグレースケールを計算し、計算結果によって前記ミラーデバイスを構成する微小ミラーをON、OFF制御する補正装置を含むことを特徴とするパターン描画装置。

23. パルス状レーザ光発生部と二次元配列状の微小ミラーを含み、かつ前記微小ミラーを基板上に縮小投影させるパターン描画を行う方法において、1回のパルス状レーザ光によって前記基板上に投影される前記二次元配列状の微小ミラーの投影パターンを、前記基板における直交する2つの移動方向の両方にオーバーラップさせながらパターン転写することを特徴とするグレースケール手法。

24. パルス状レーザ光発生部と二次元配列状の微小ミラーを含み、かつ前記微小ミラーを基板上に縮小投影させるパターン描画装置において、パルス状レーザ光を発生する手段と、当該一回のパルスレーザ光によって前記基板上に投影される前記二次元配列状の微小ミラーの投影パターンを、前記基板における直交する2つの移動方向の両方にオーバーラップさせながらパターン転写する手段とを有していることを特徴とするパターン描画装置。

25. 更に、前記微小ミラーを含むミラーデバイスにパルス光源からのパルス状のレーザ光を多数の細い光線に分割できるピンホール板を備えていることを特徴とする請求項24記載のパターン描画装置。

26. 前記ピンホール板は、石英ガラスと、当該石英ガラスの表面に形成された金属膜とを有し、前記金属膜の上に電子ビーム露光装置を用いてホール状に露光されることによって形成されていることを特徴とする請求項25記載のパターン描画装置。

27. 前記ピンホール板はペルチェ素子を有していることを特徴とする請求項26記載のパターン描画装置。

28. 二次元に配列された微小ミラーを含むミラーデバイスに光源からの露光光を入射し、前記ミラーデバイスから出力される個別の微小ミラーの投影パターン

を用いて、基板上にパターンを描画するパターン描画方法において、前記ミラーデバイスからの投影パターンを少なくとも一次元方向に、時間の経過と共に、部分的にオーバーラップさせることにより、グレースケールを実現することを特徴とするパターン描画方法。

図 1

100

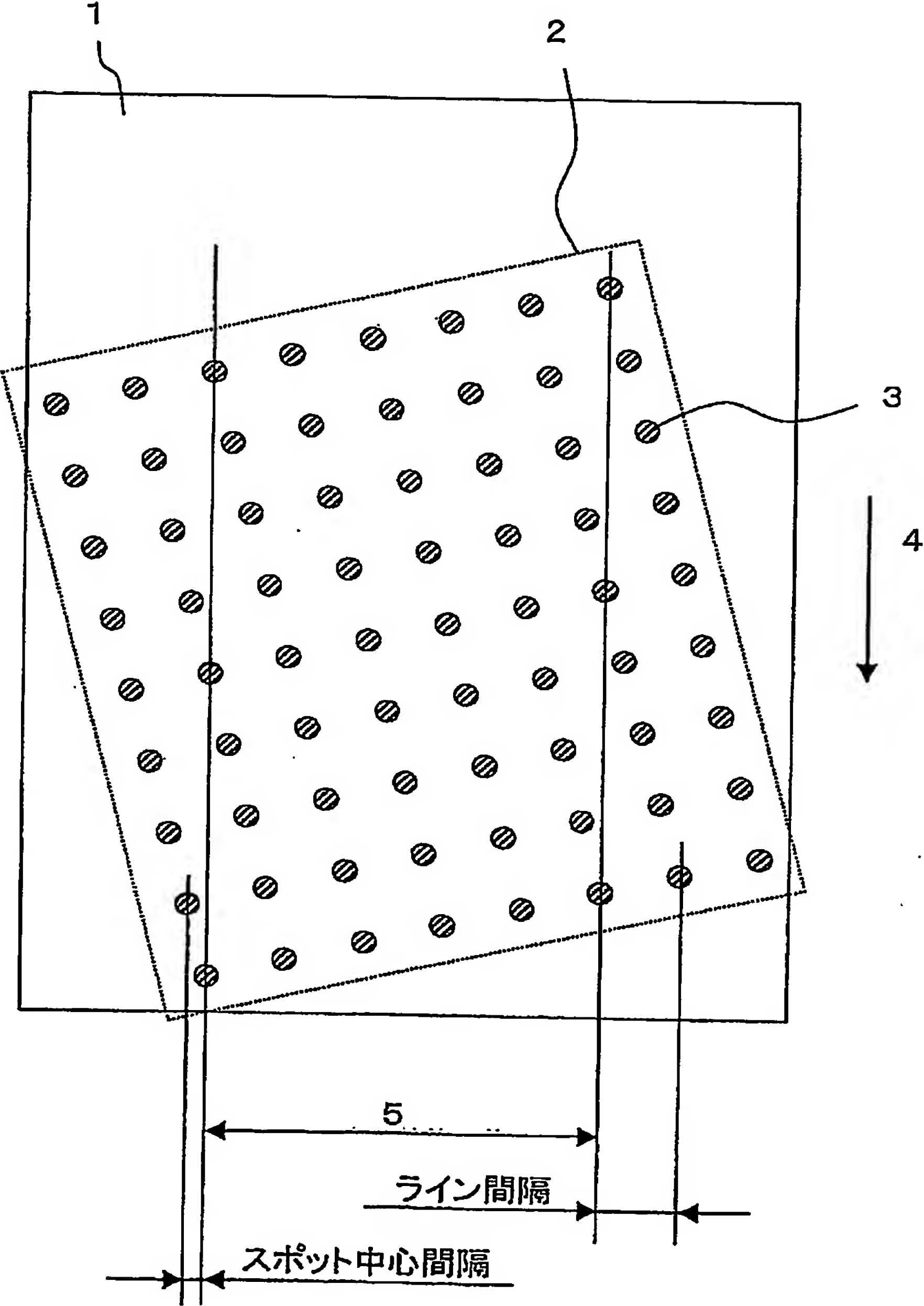


図 2

100

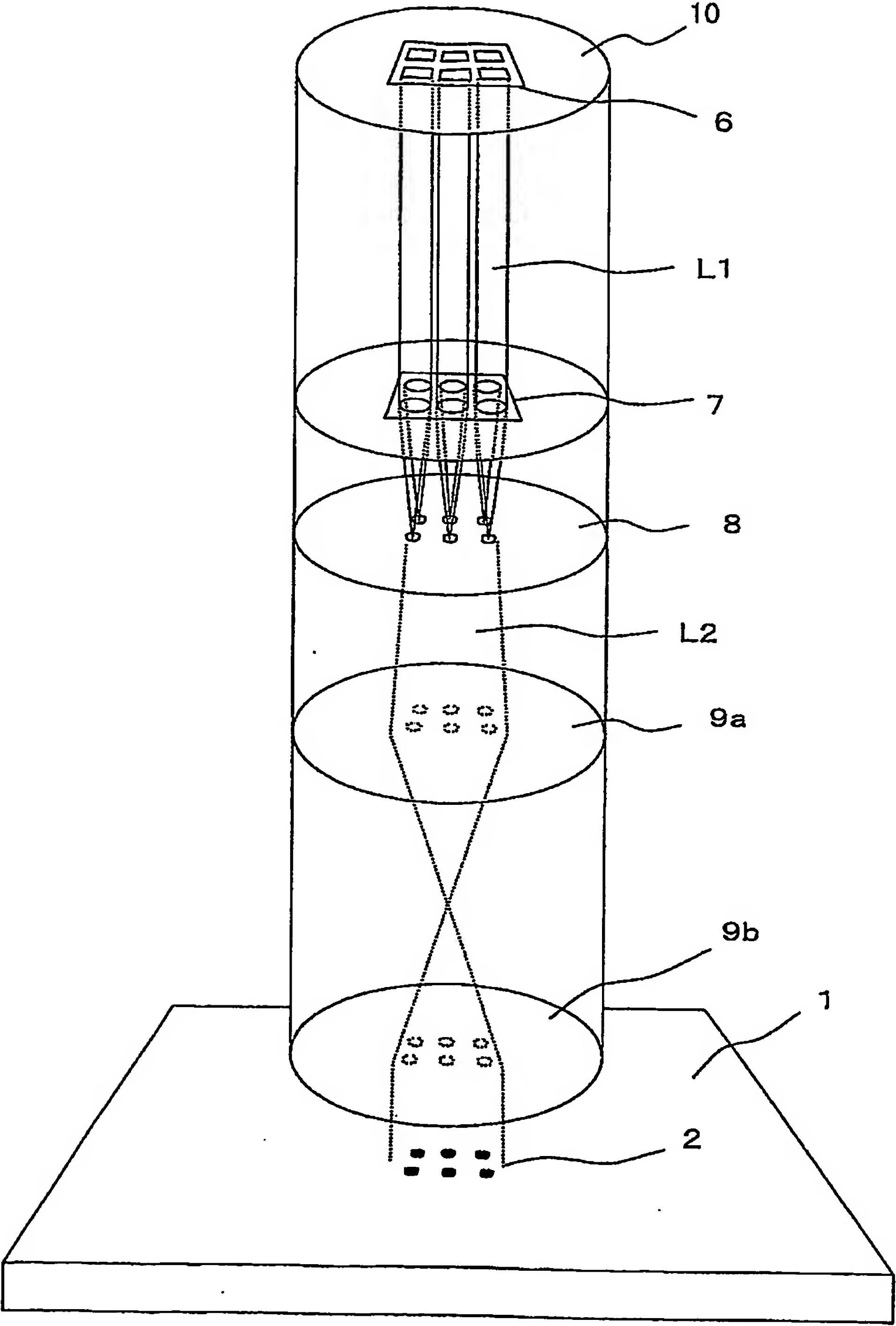


図 3

(a) 公式

$$\text{スポット中心間隔}(D) = d \cdot G$$

$$\text{ライン間スポット数}(N) = (Y-1) / (G-1) \sim Y / G$$

$$\text{ライン間隔}(S) = D \cdot N$$

$$\text{有効露光幅}(W) = (X-2G) \cdot S$$

$$\text{スキャン回数}(m) = XM / W$$

$$\text{スキャンスピード}(V) = D \cdot f$$

$$\text{描画時間}(T) = (YM / V) \cdot m$$

(b) 記号説明

G: 階調数

d: 基板上の最小グリッドサイズ

(X, Y): マイクロミラー画素数(横方向, 縦方向)

(XM, YM): 基板内描画エリア(横方向, 縦方向)

f: マイクロミラー偏向周波数(Hz)

(c) 設計例

$$G = 64 \text{ 階調}$$

$$d = 1.56 \text{ nm}$$

$$X = 2048 \text{ 個}, Y = 512 \text{ 個}$$

$$XM = 132 \text{ mm}, YM = 100 \text{ mm}$$

$$f = 2,000 \text{ Hz}$$

(d) 算出結果

$$D = 1.56 \text{ nm} \times 64 = 0.10 \mu \text{ m}$$

$$N \sim 512 \text{ 個} / 64 = 8 \text{ 個}$$

$$S = 0.10 \mu \text{ m} \times 8 = 0.8 \mu \text{ m}$$

$$W = (2048 - 2 \times 64) \times 0.8 \mu \text{ m} = 1.536 \text{ mm}$$

$$m = 132 \text{ mm} / 1.536 \text{ mm} = 86 \text{ 回}$$

$$V = 0.10 \mu \text{ m} \times 2,000 = 0.2 \text{ mm/s}$$

$$T = (100 \text{ mm} / 0.2) \times 86 = 43000 \text{ s} \sim 12 \text{ h}$$

図 4

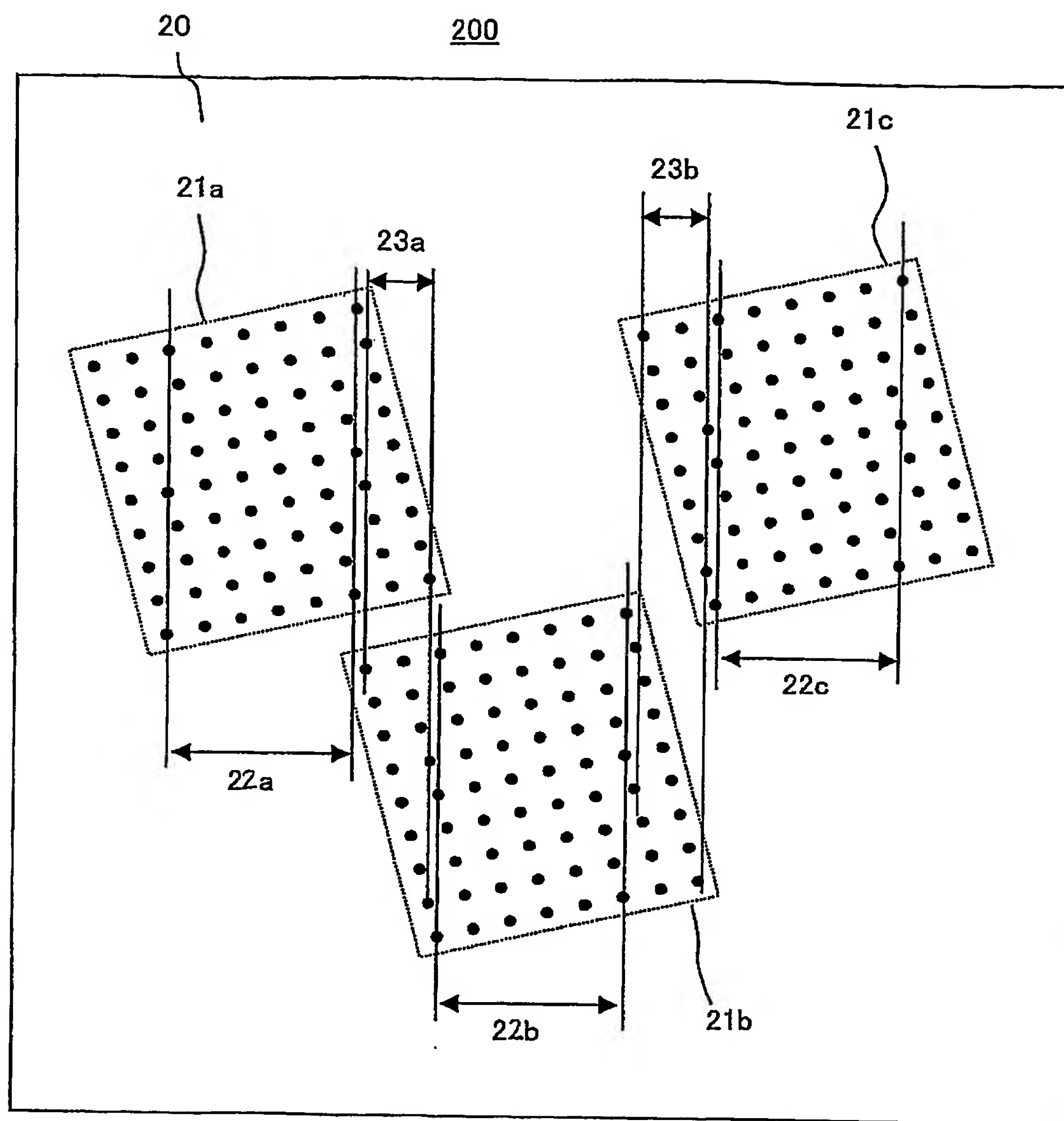
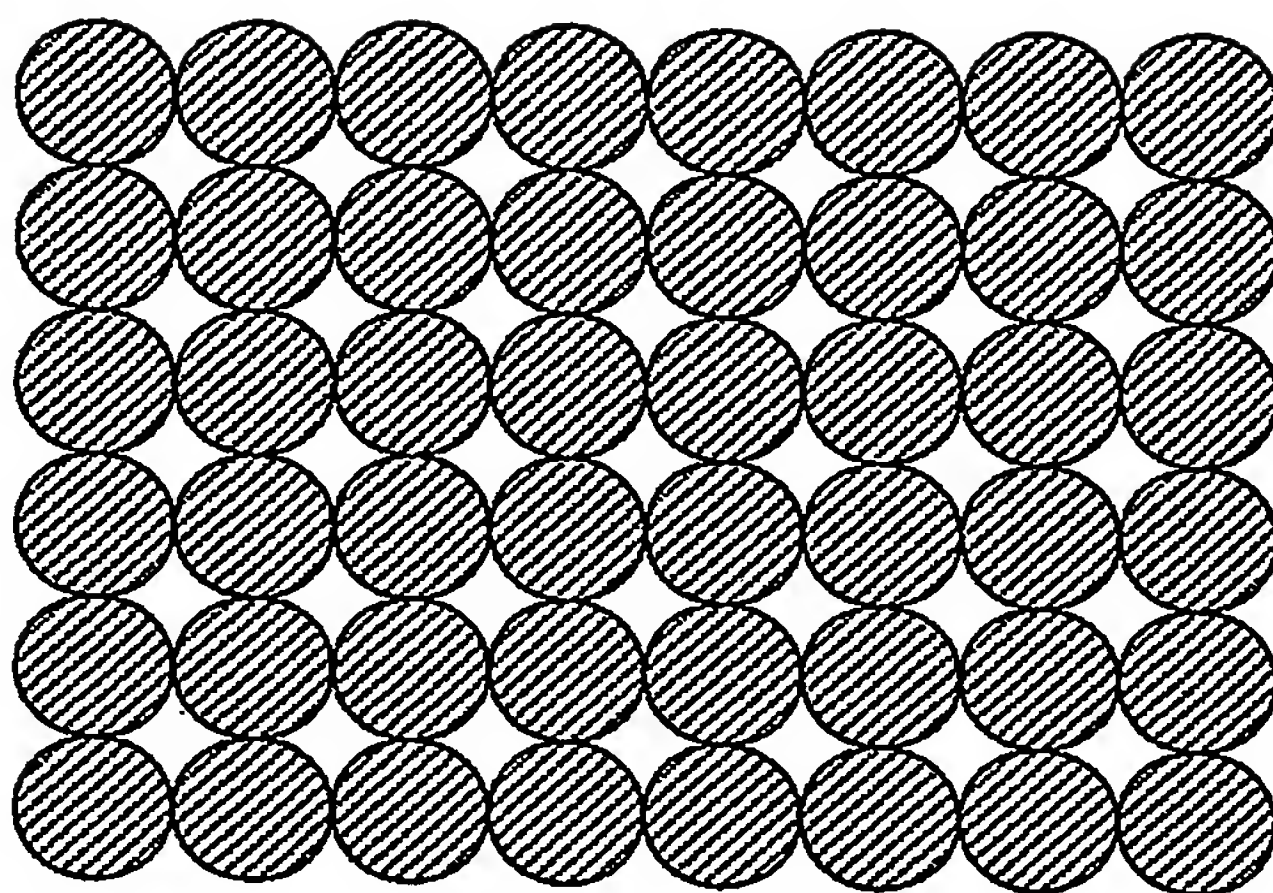


図 5

(a)



(b)

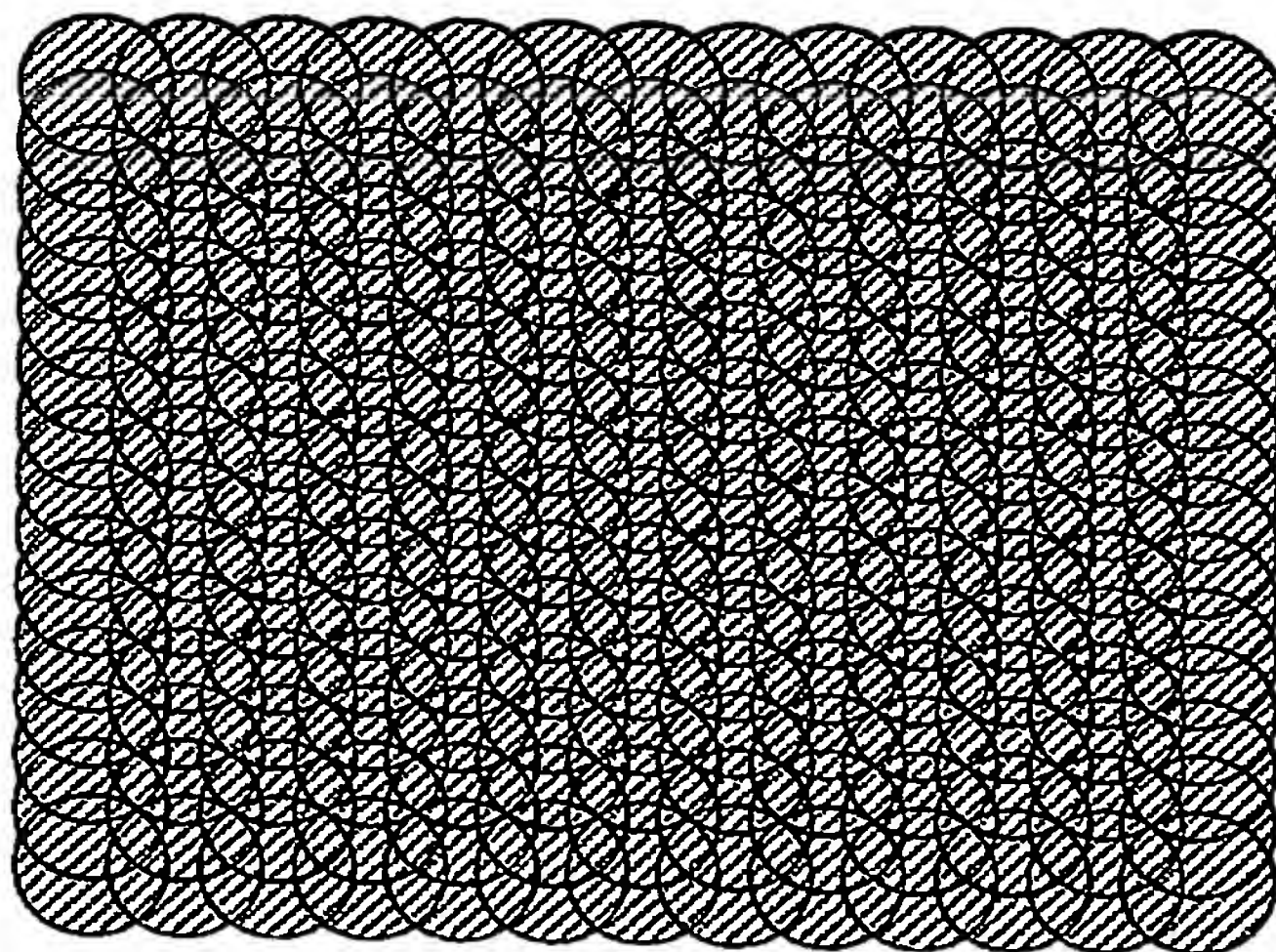


図 6

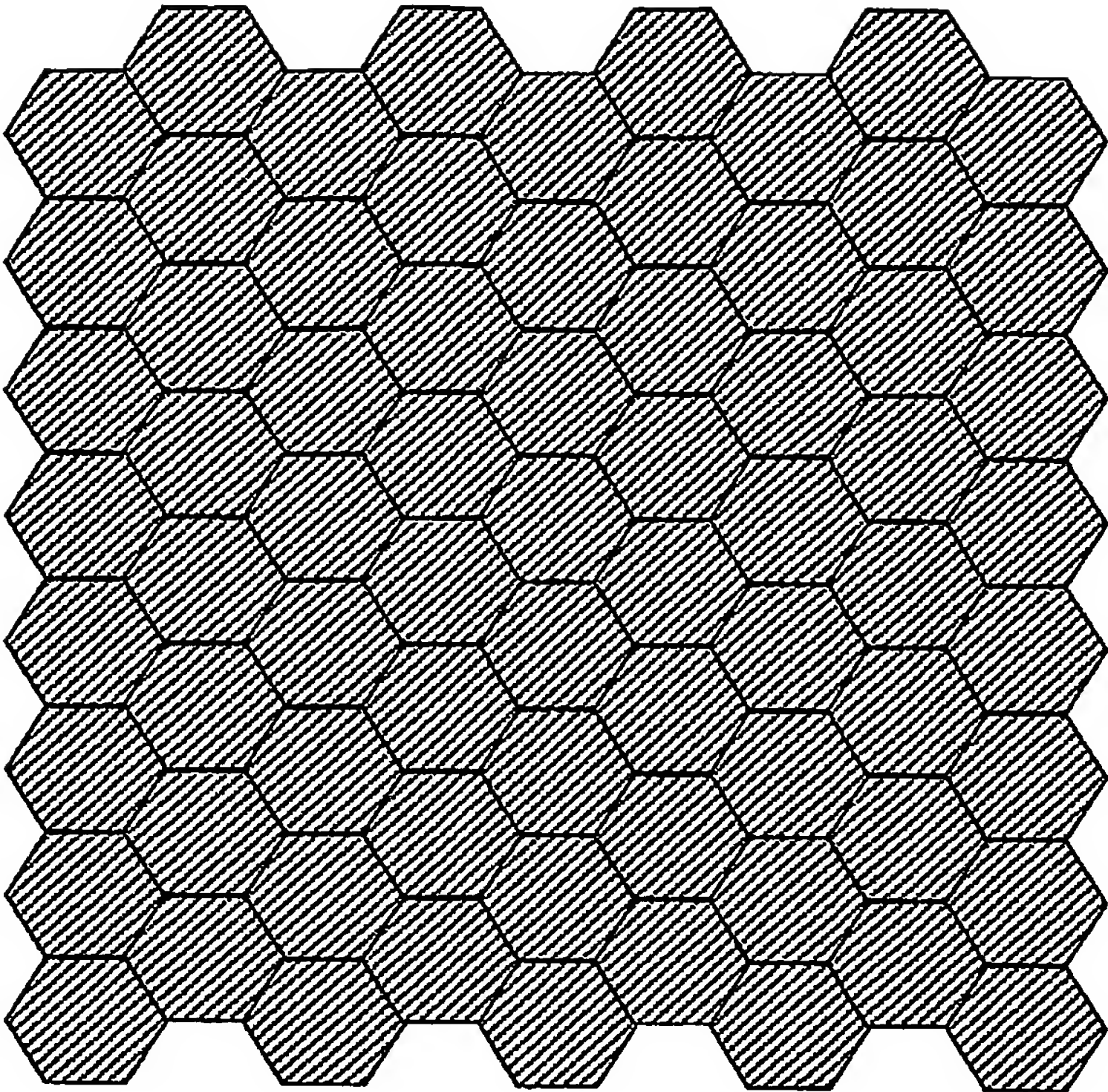


図 7

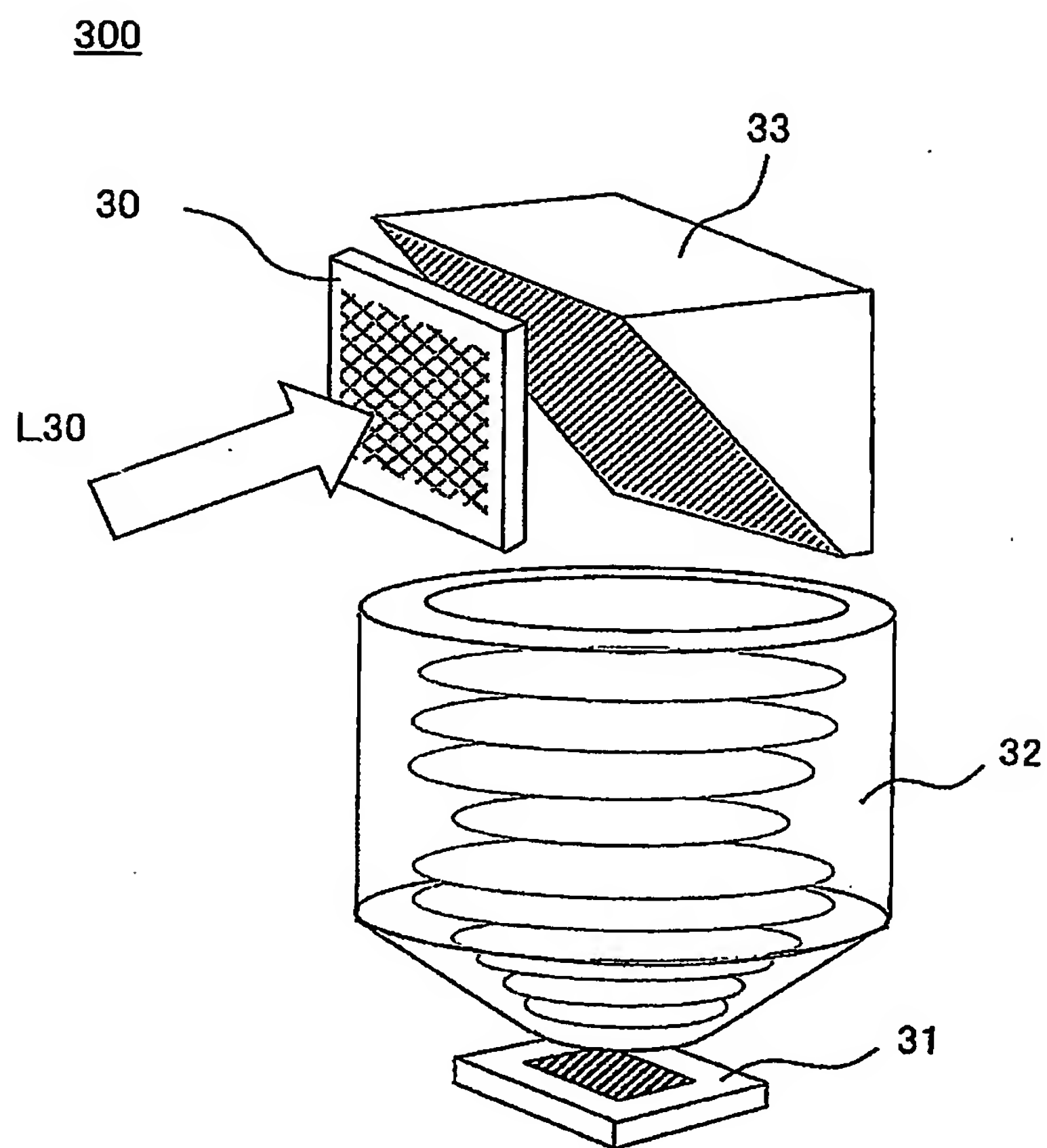
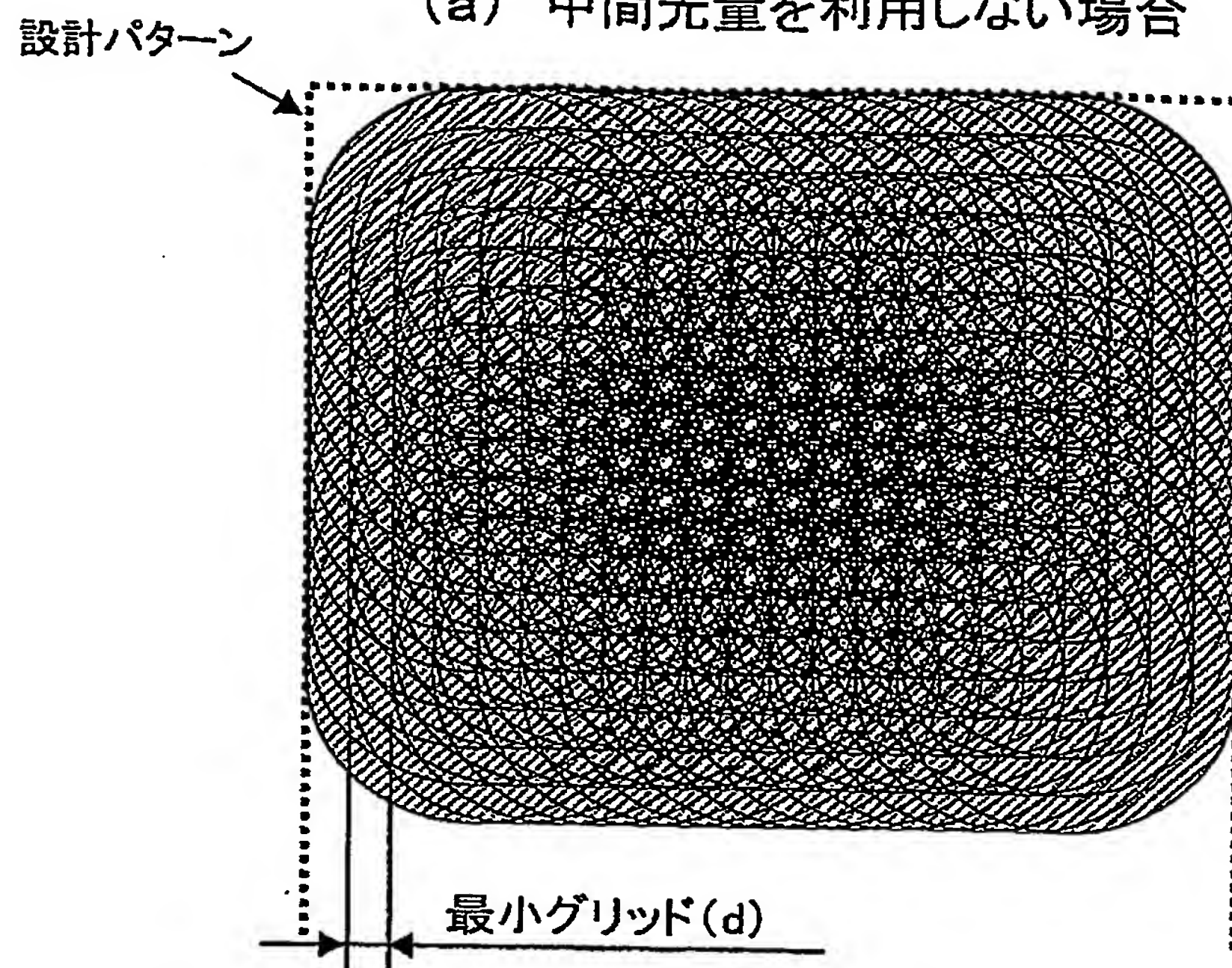


図 8

(a) 中間光量を利用しない場合



(b) 中間光量を利用する場合

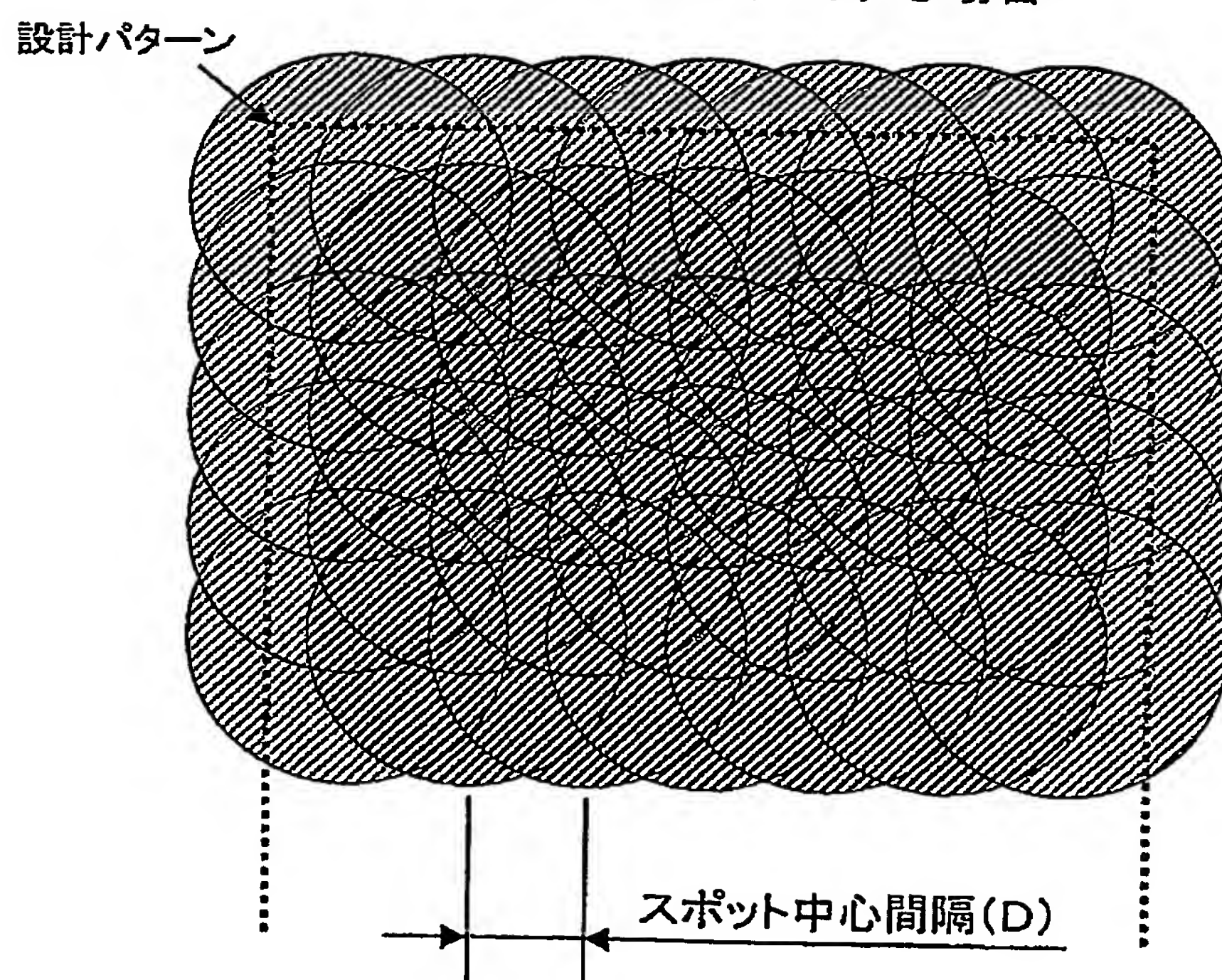


図 9

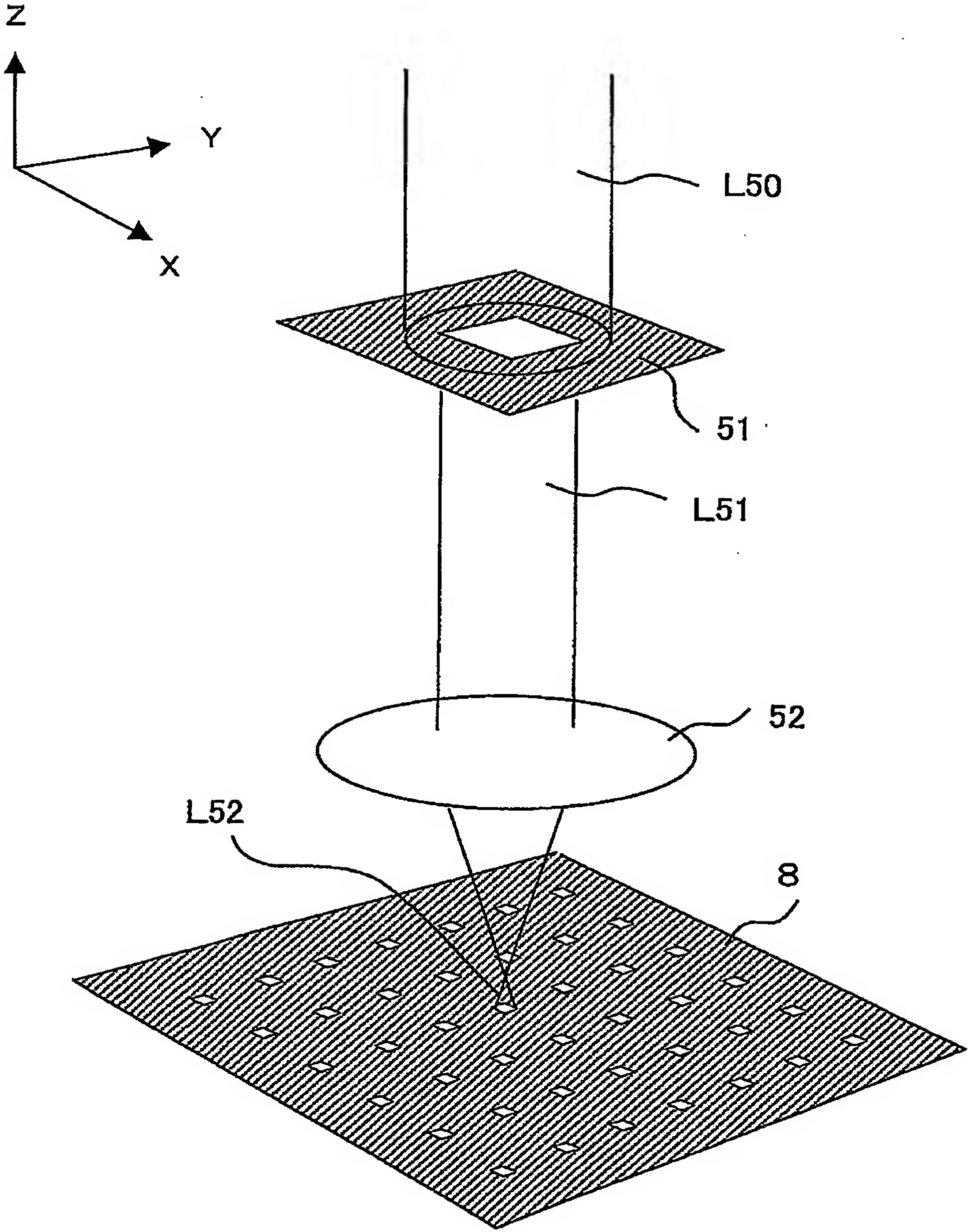


図 10

100

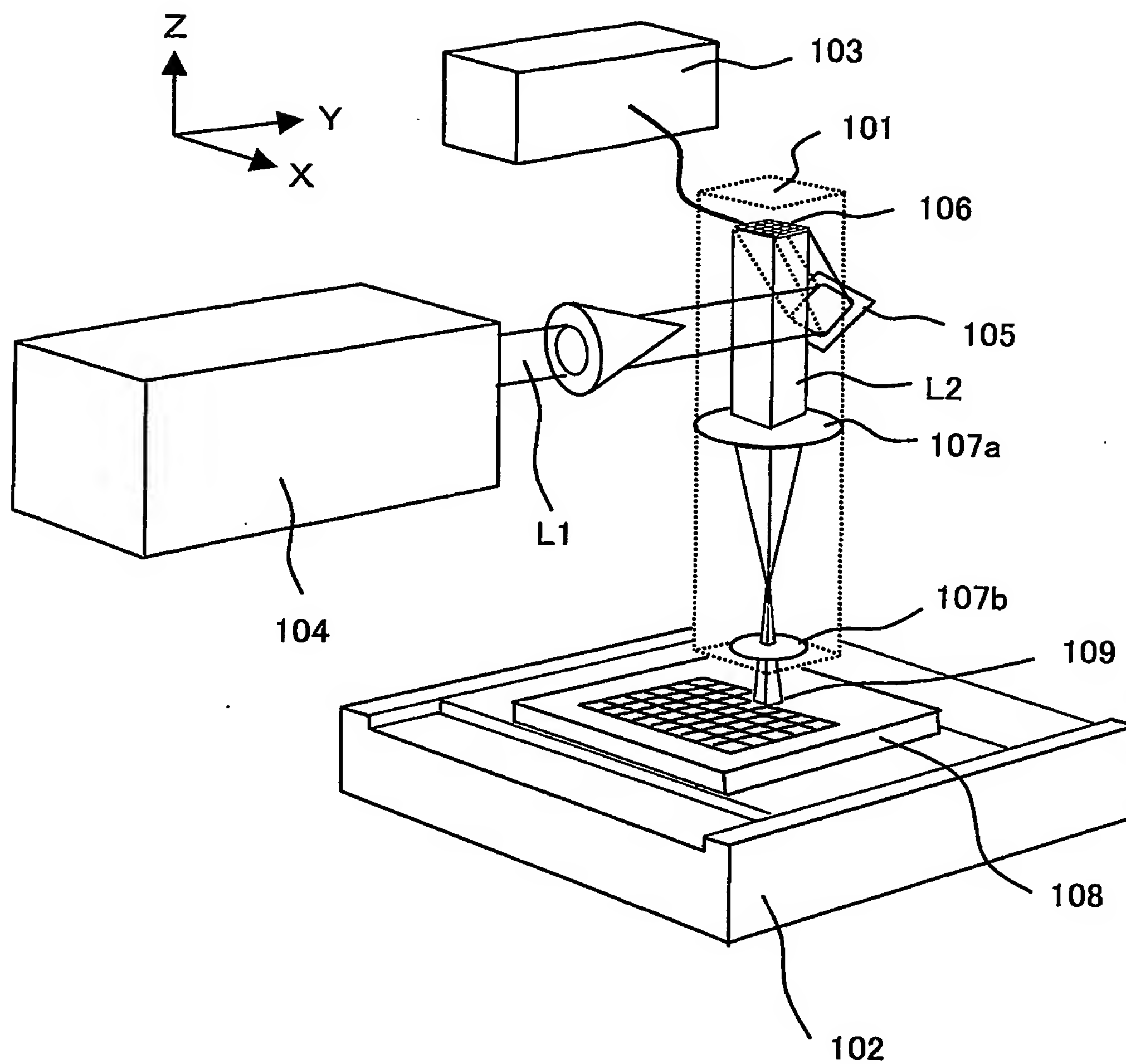


図 11

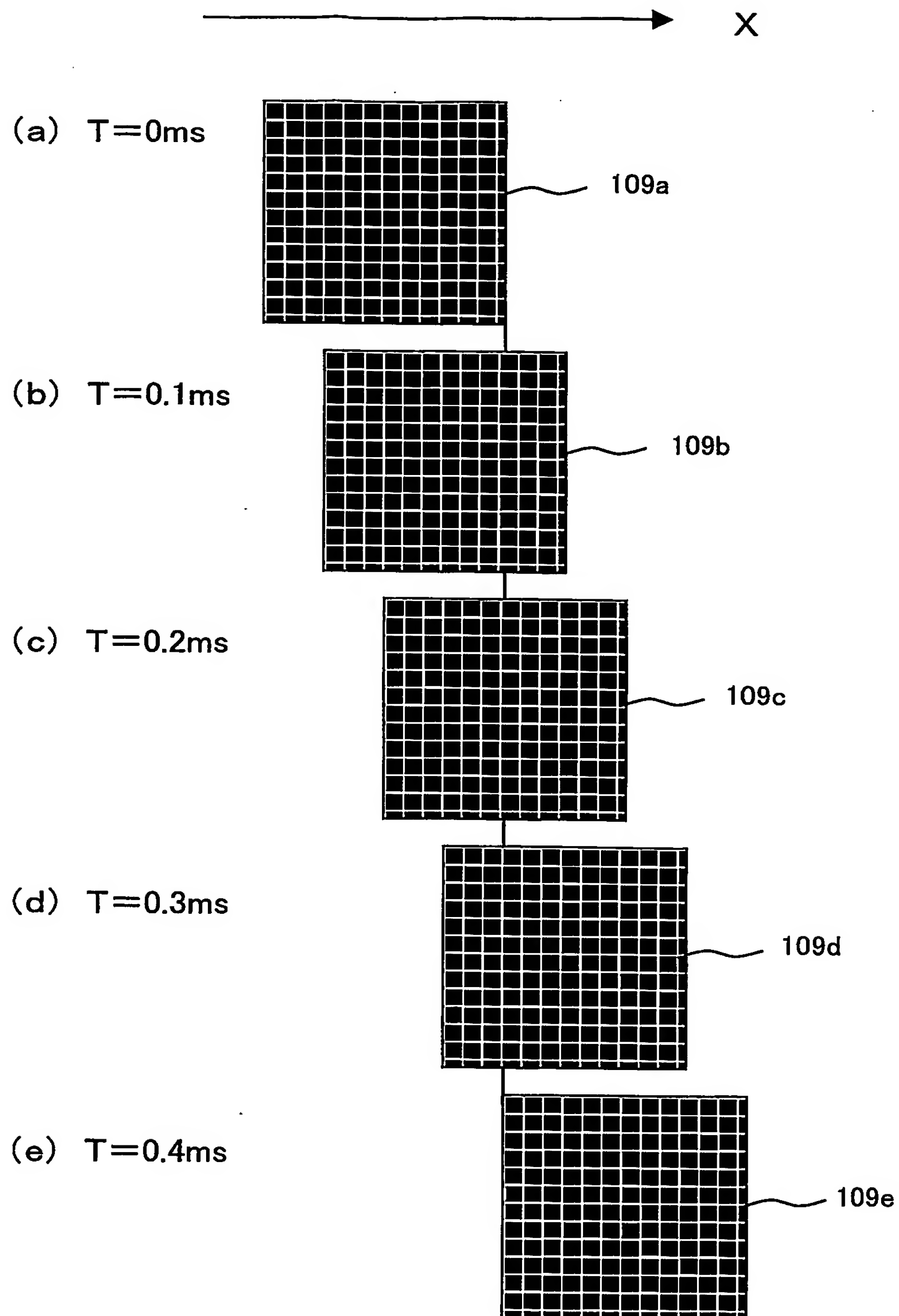
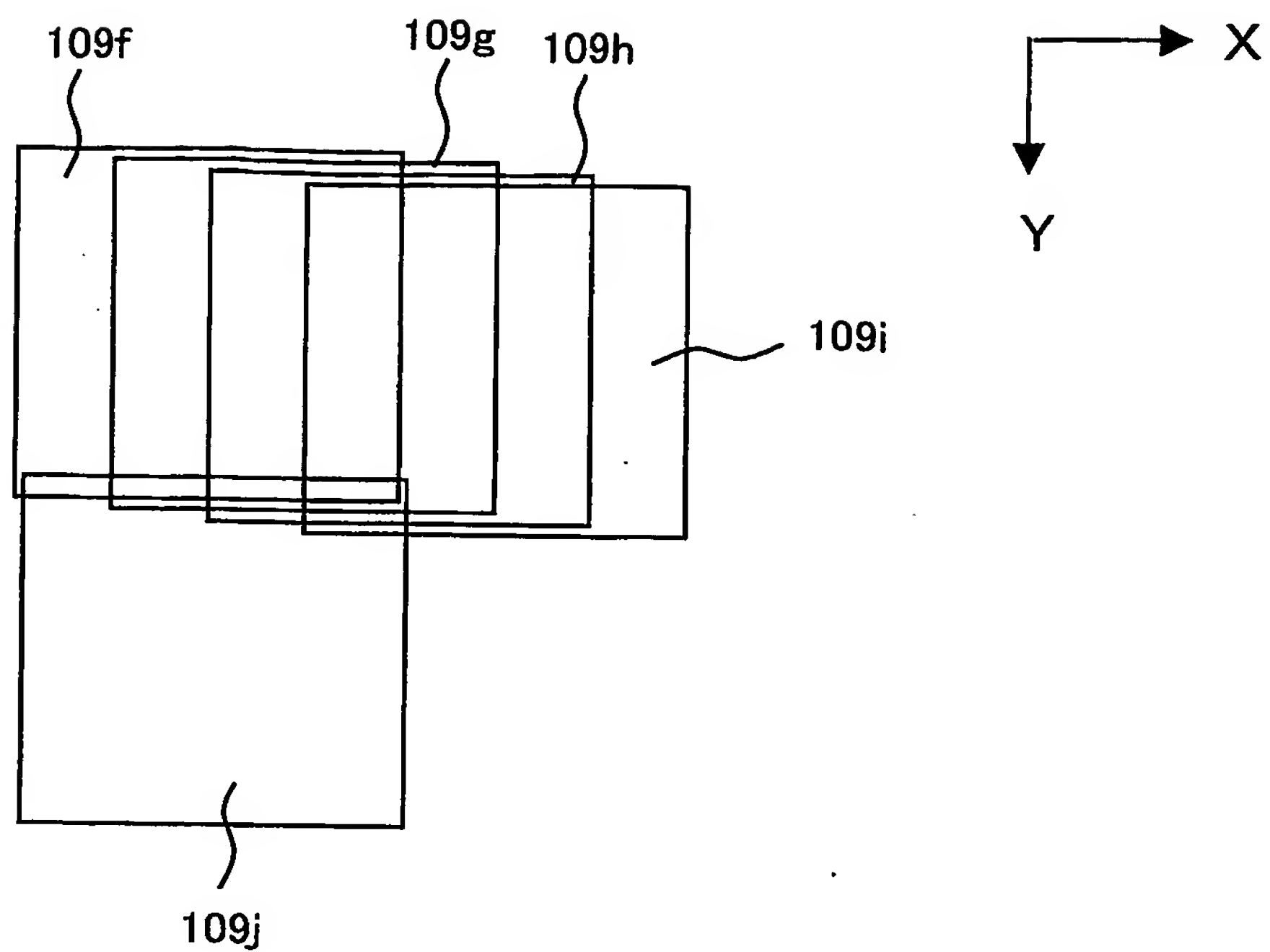


図 12

(a)



(b)

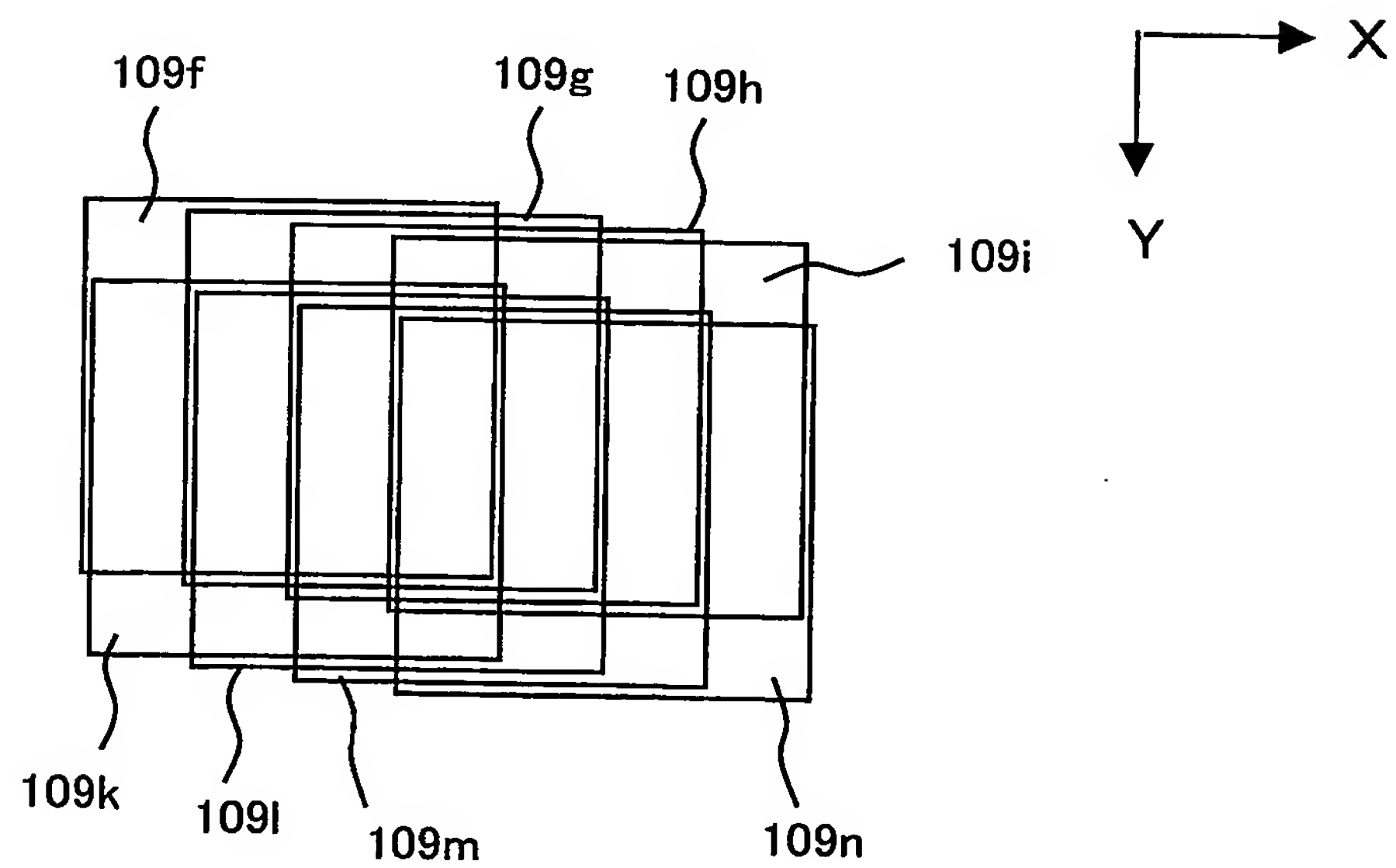


図 13

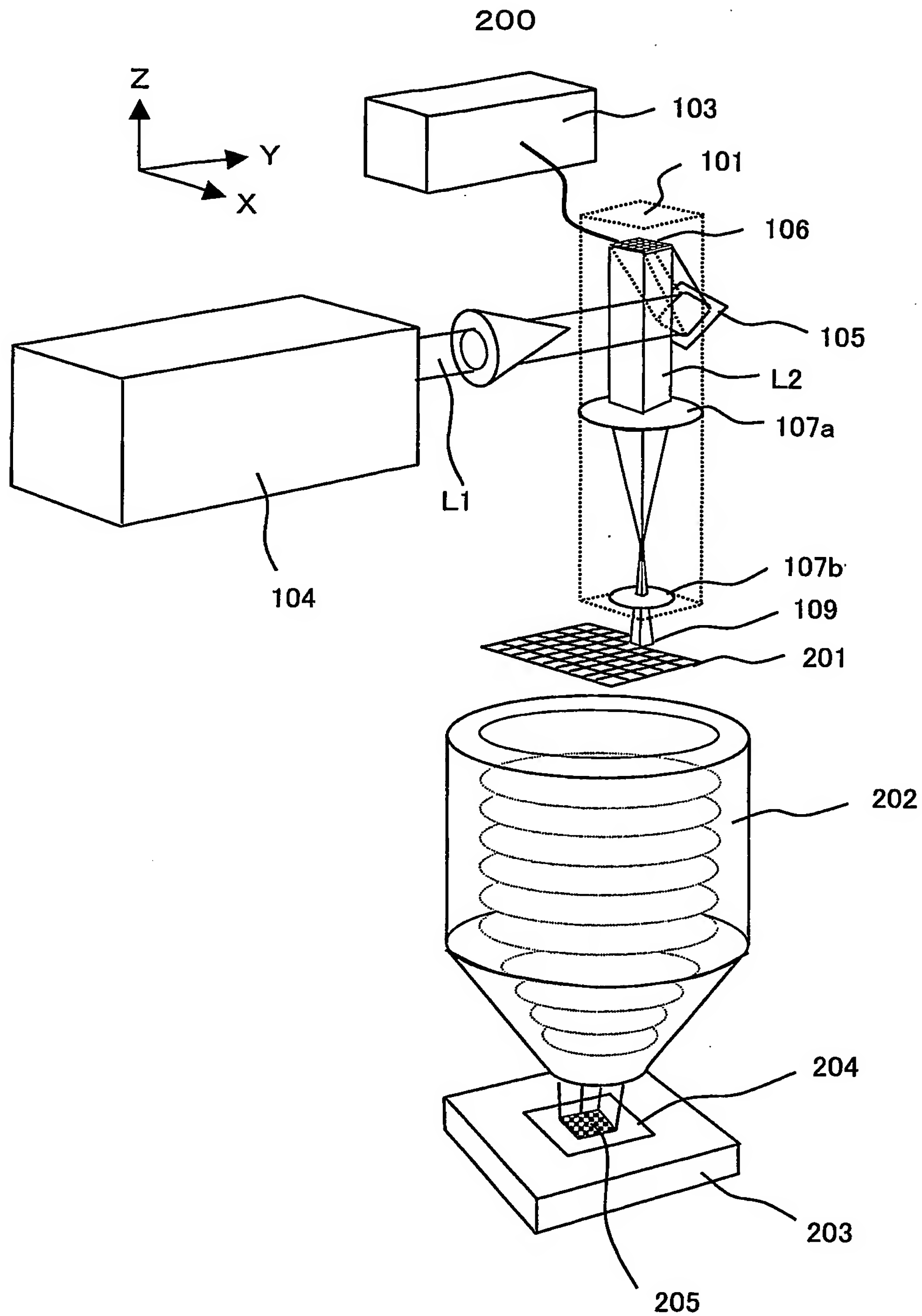


図 14

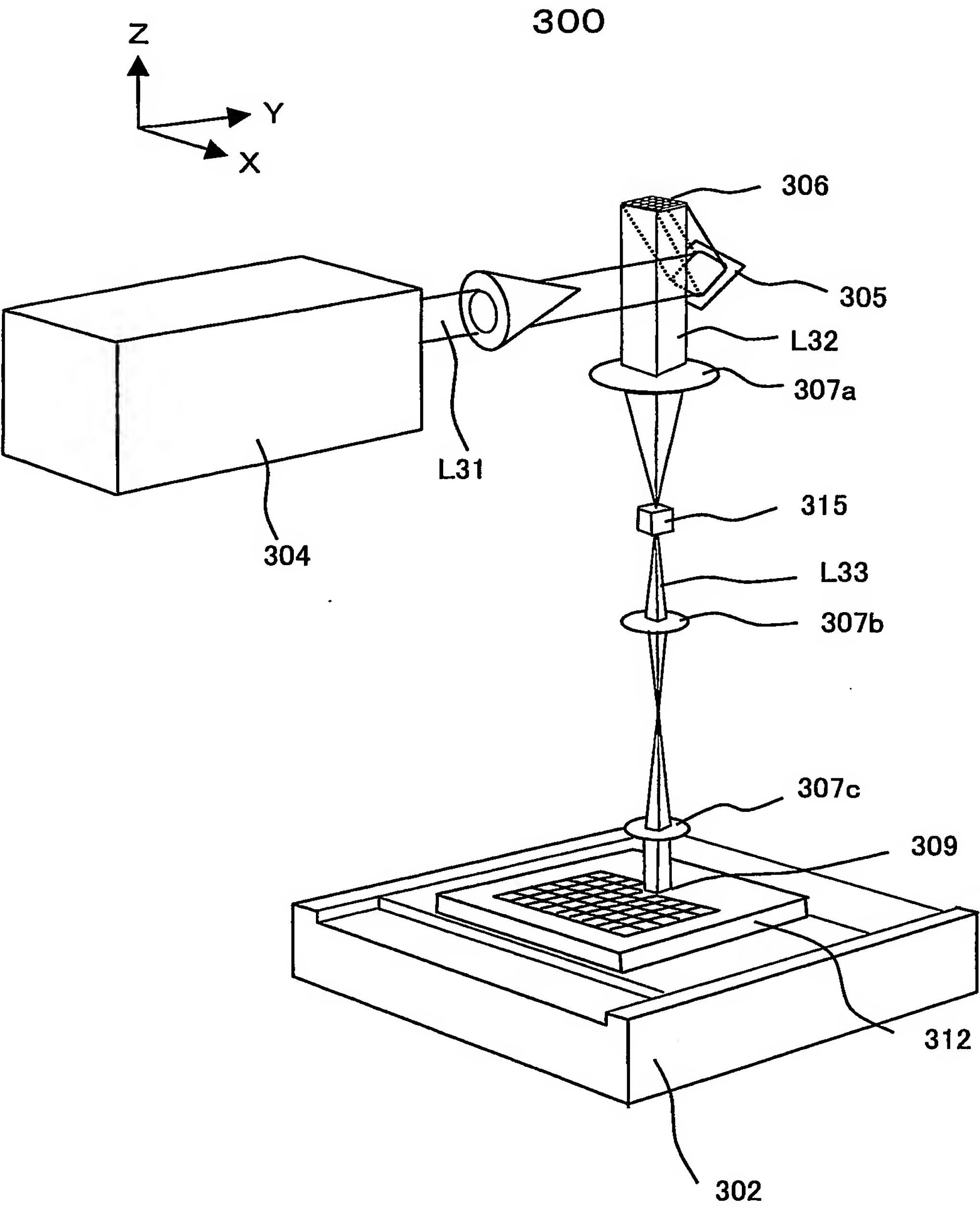


図 15

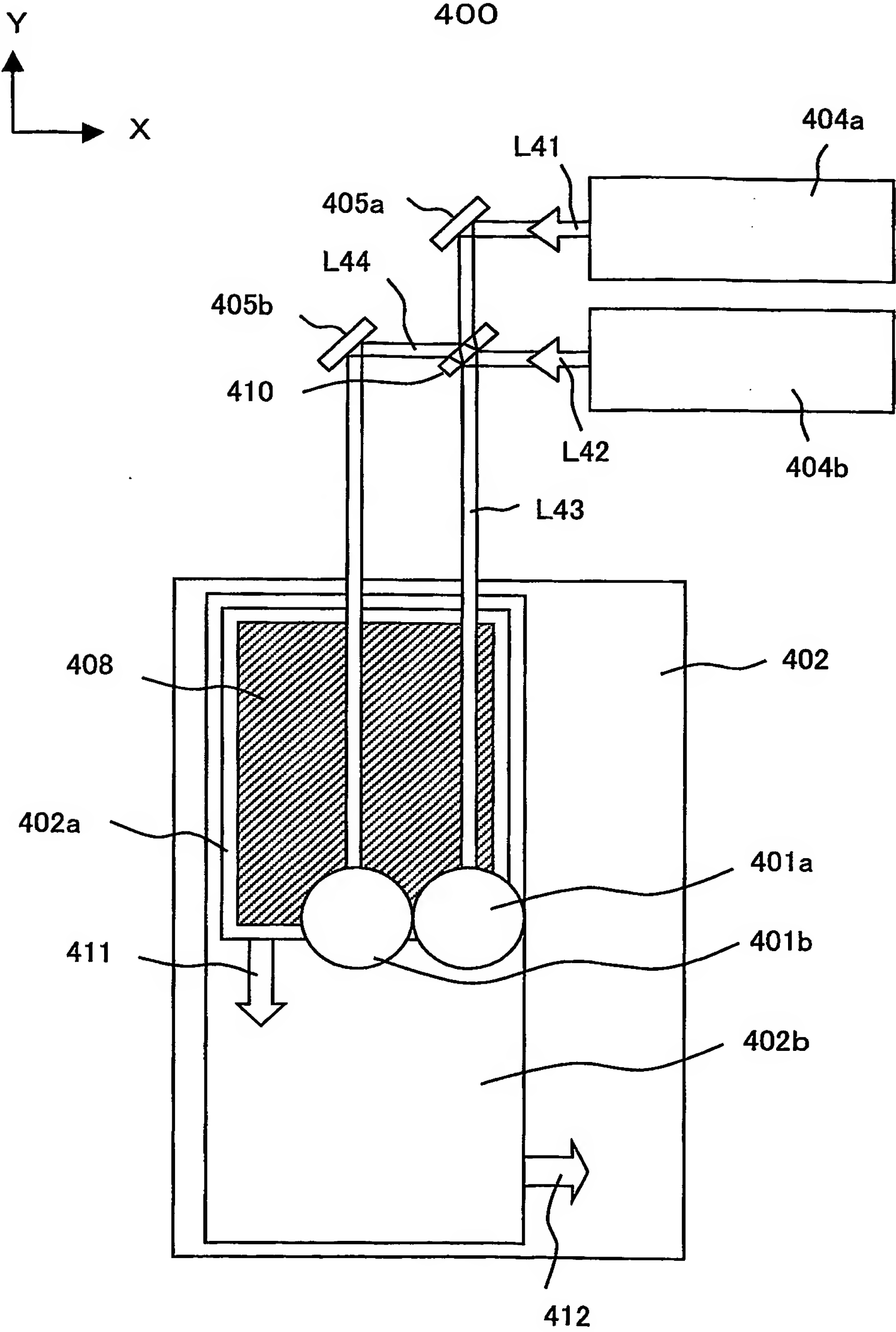


図 16

500

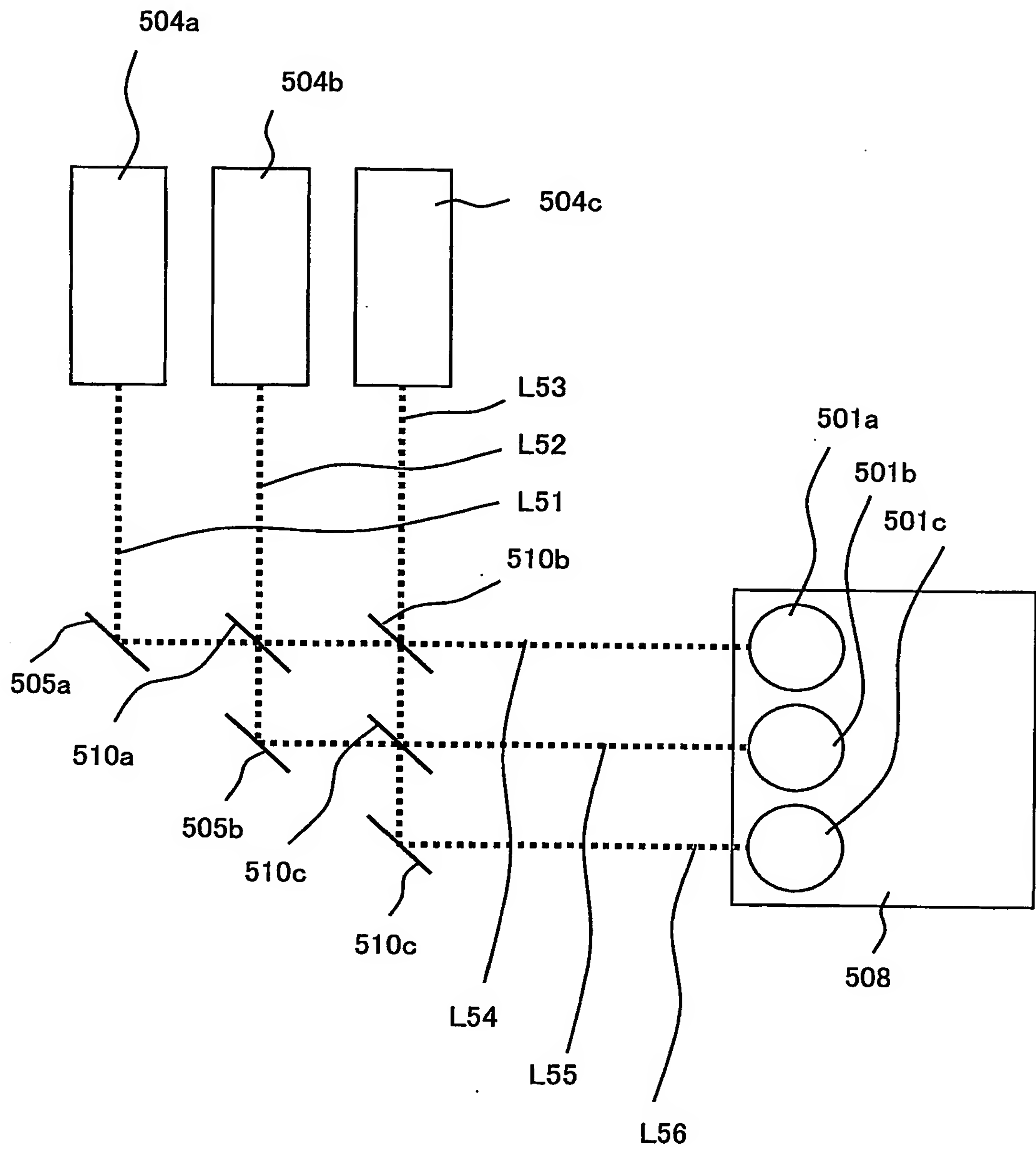


図 17

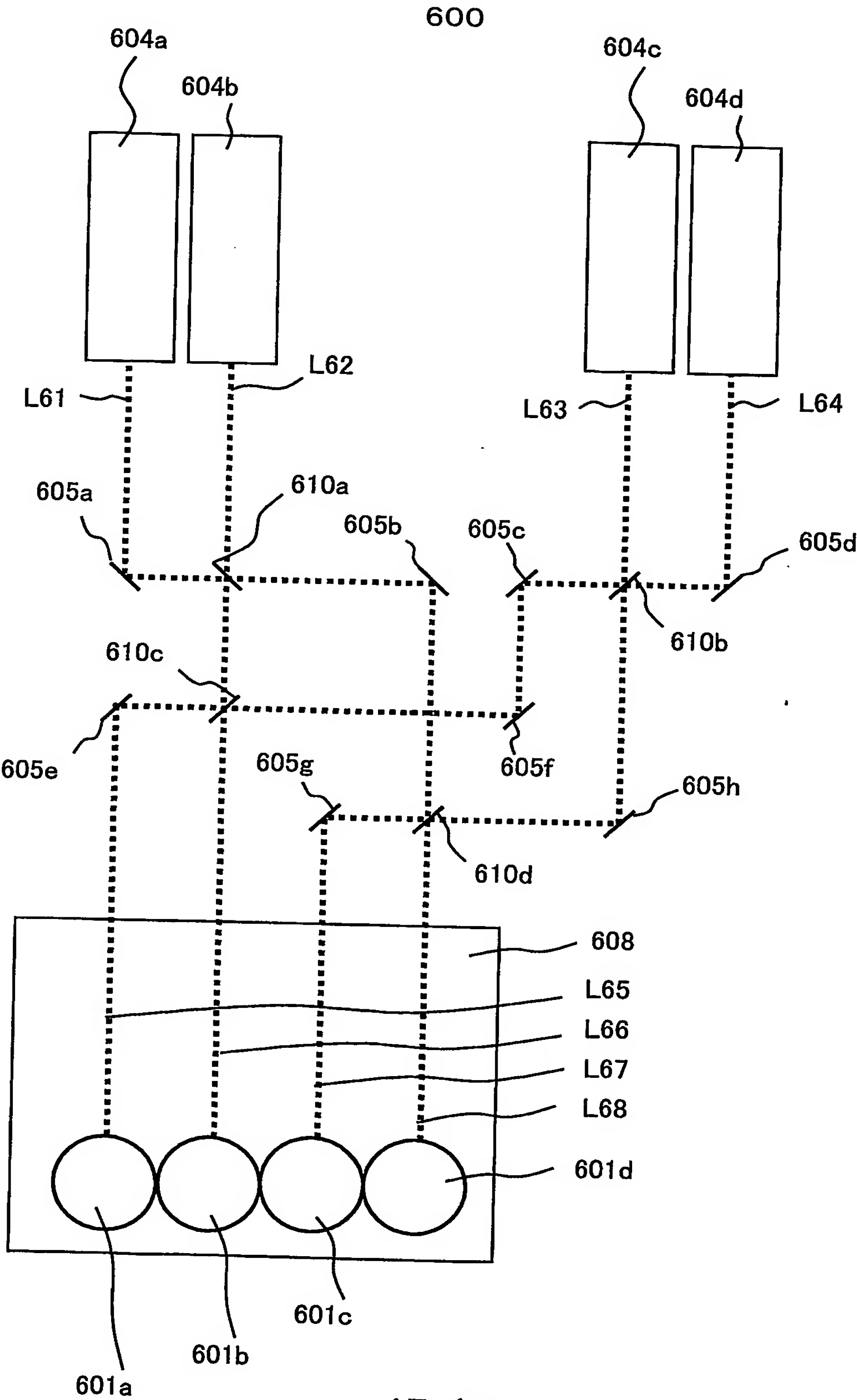


図 19

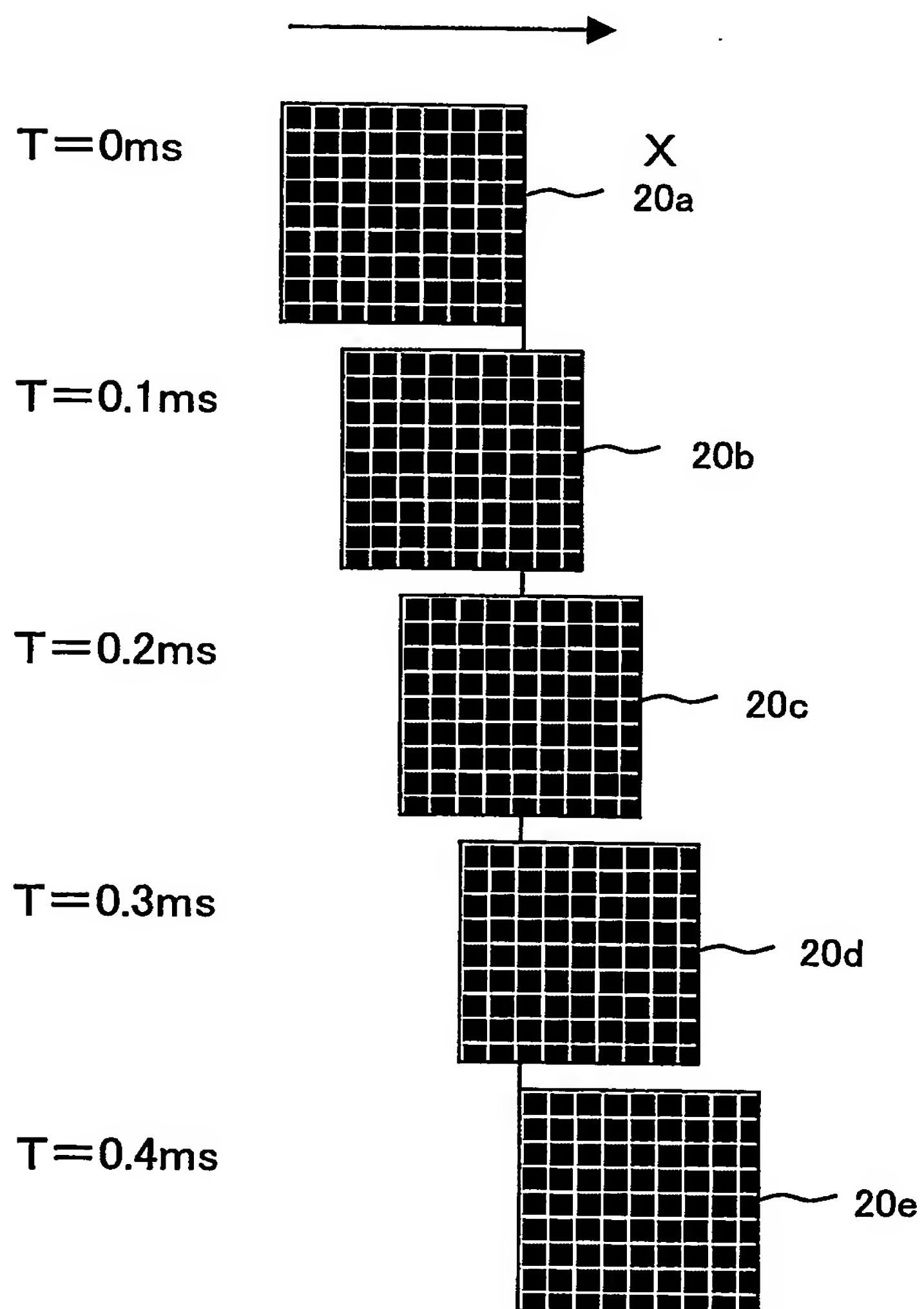
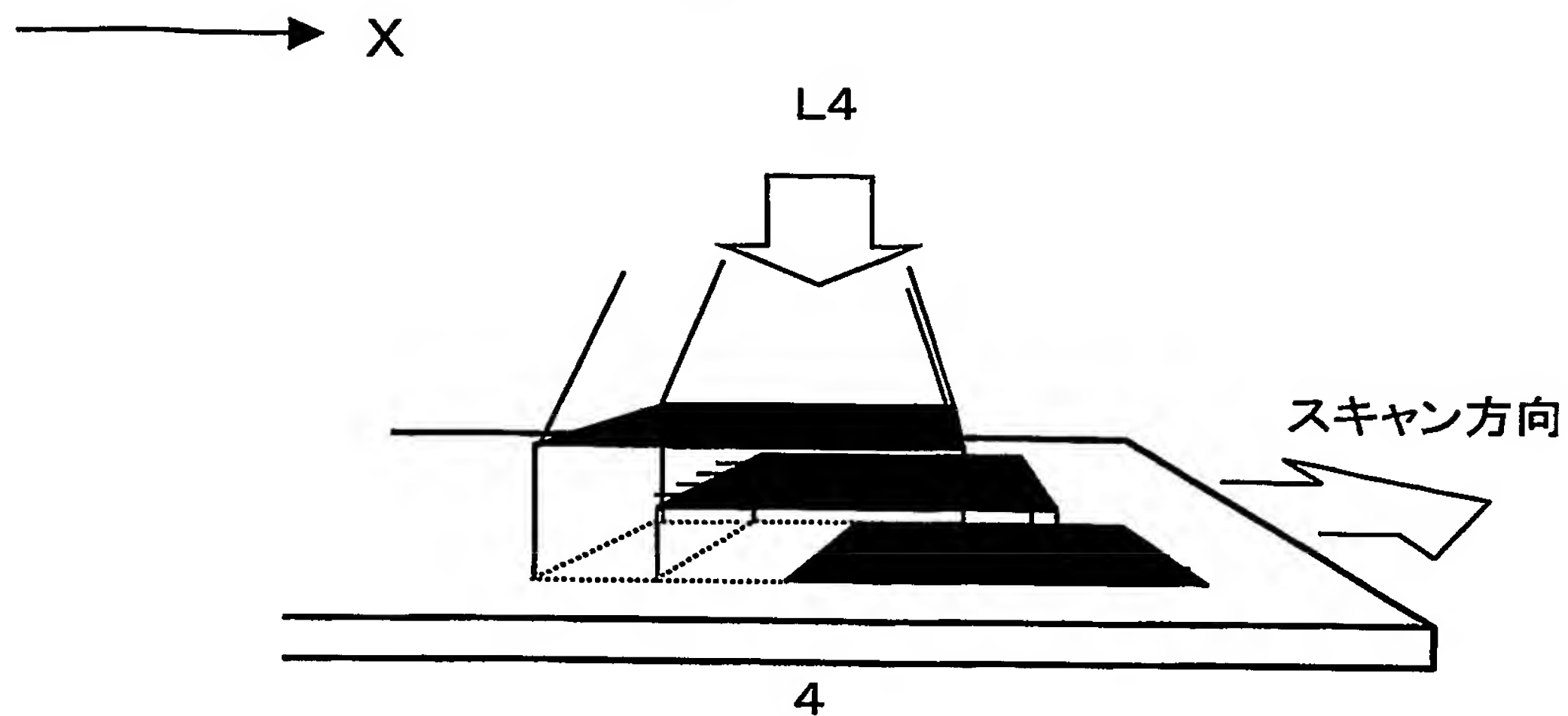


図 20

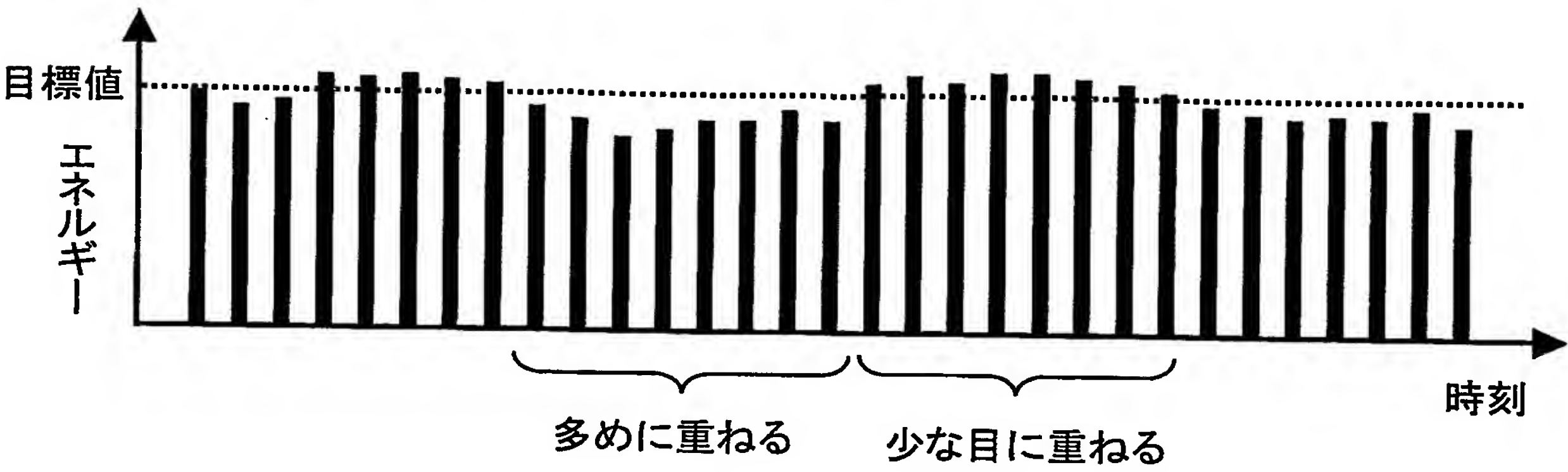


図 21

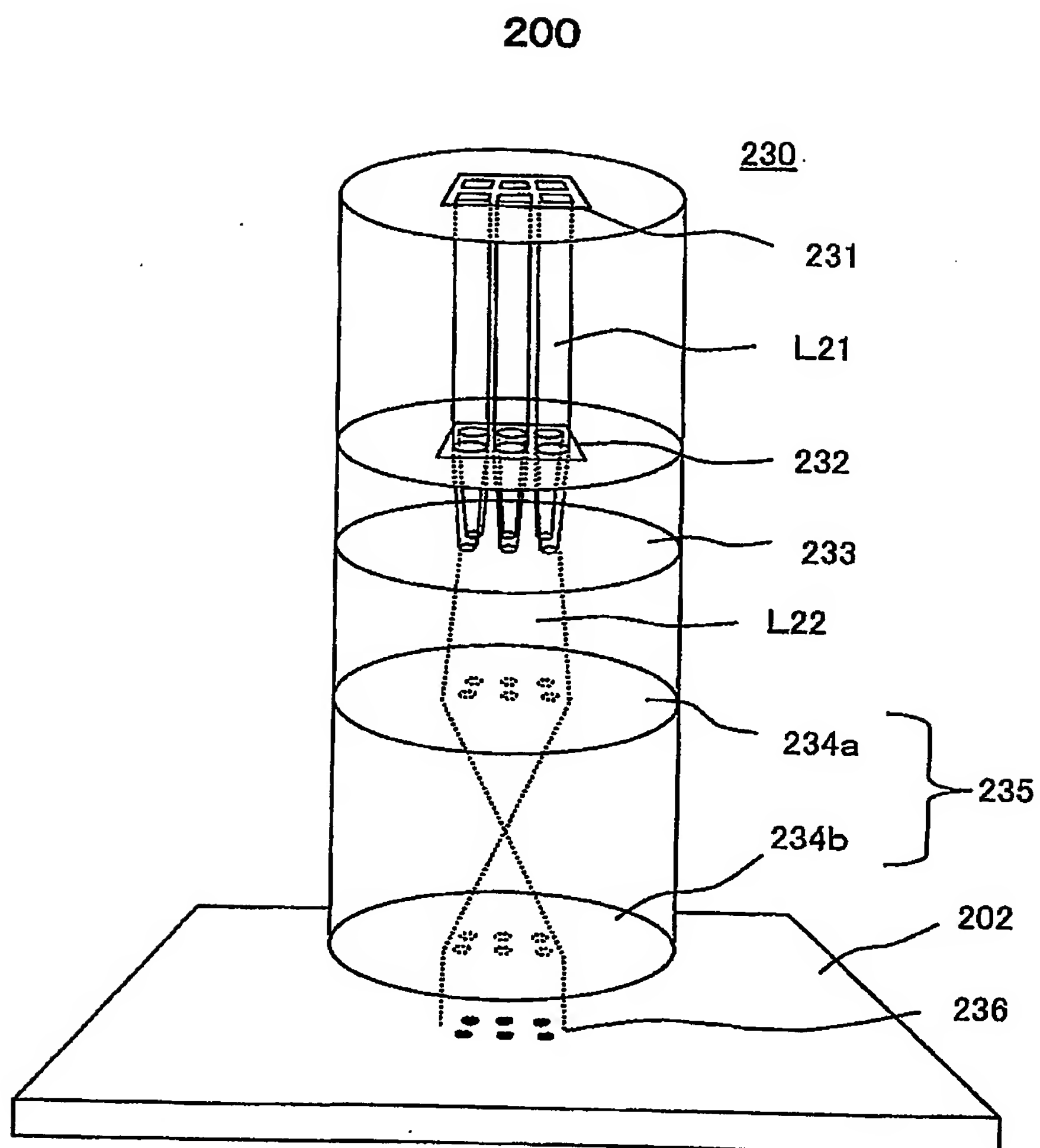


図 22

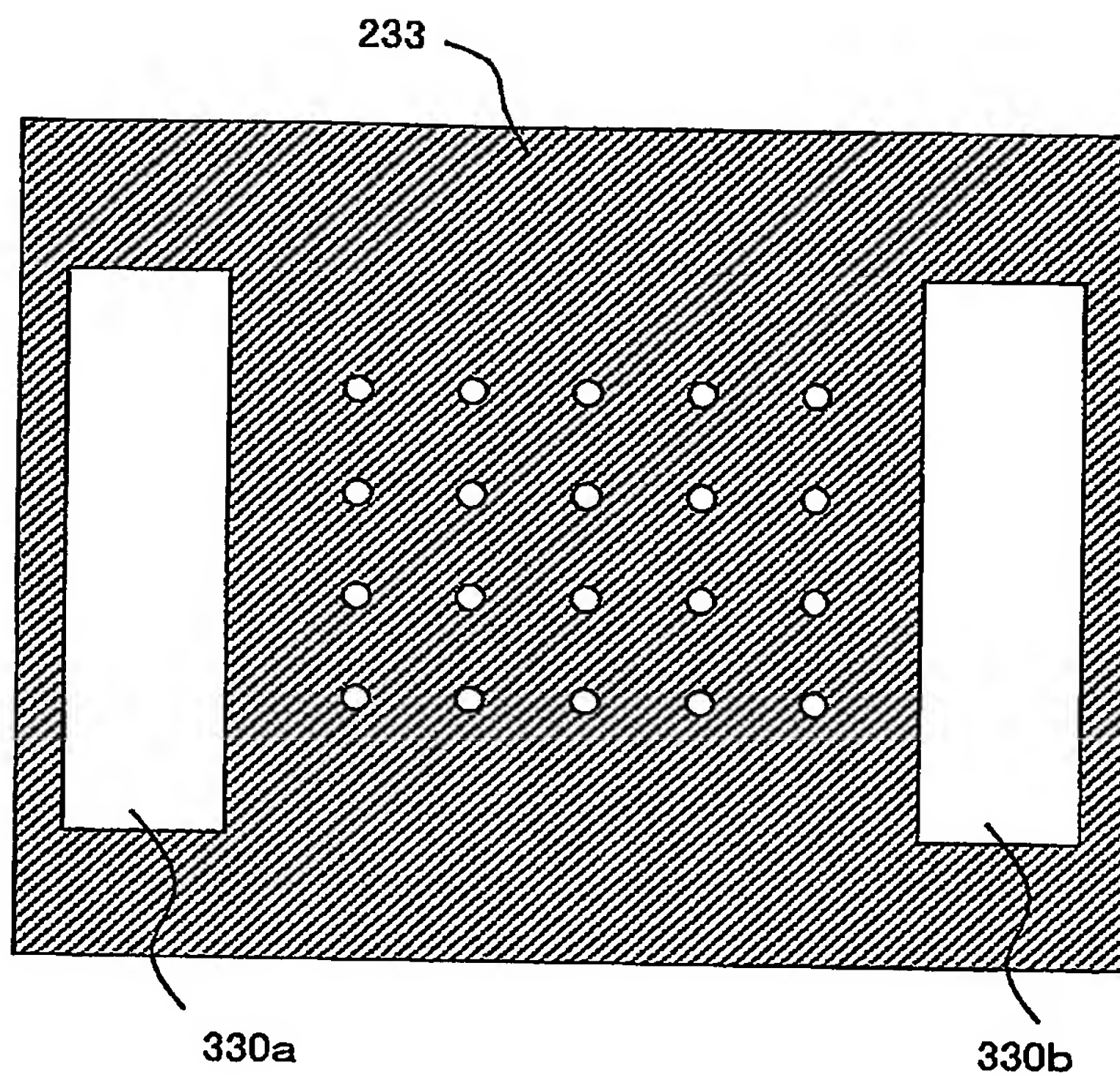


図 23

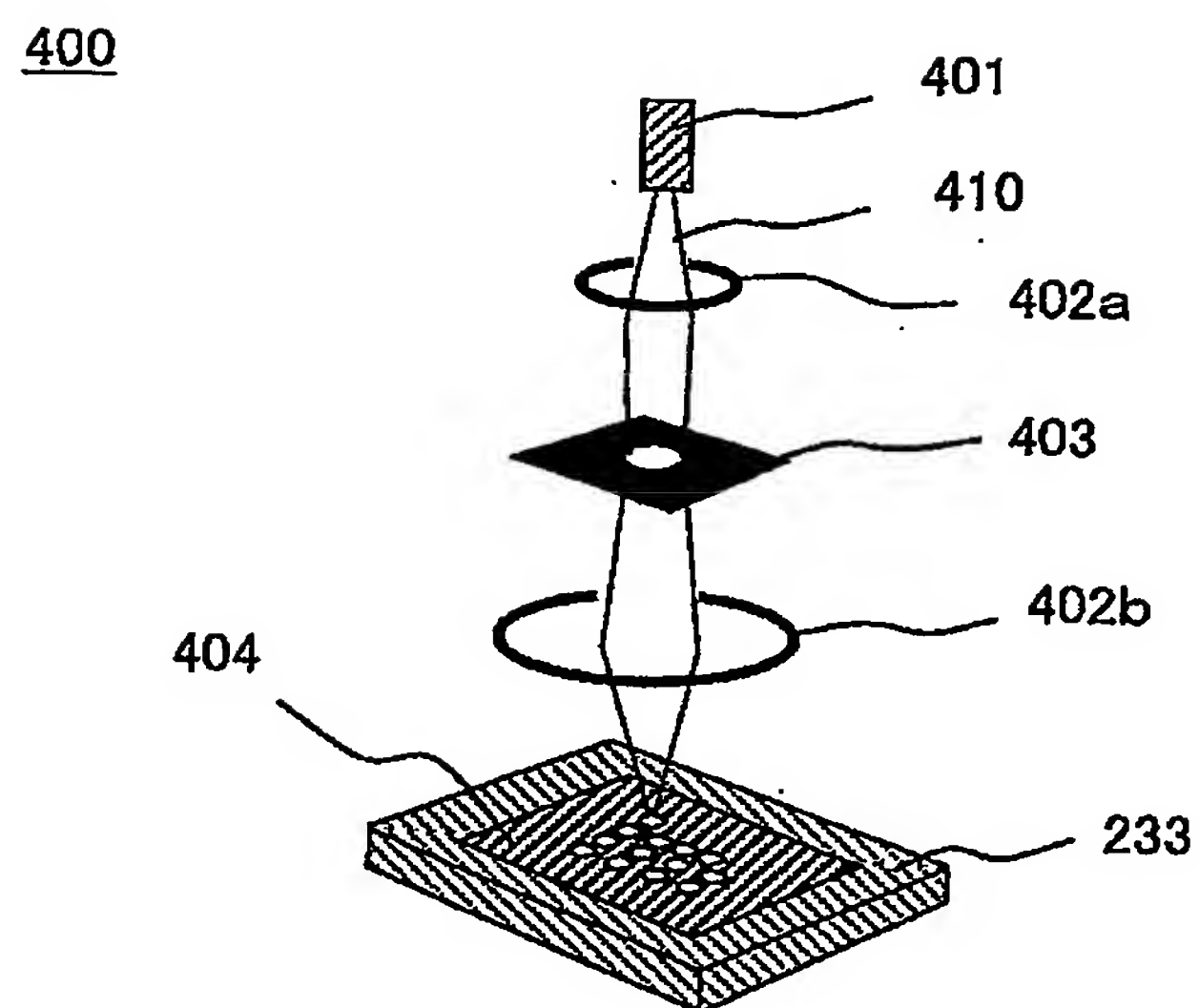


図 24

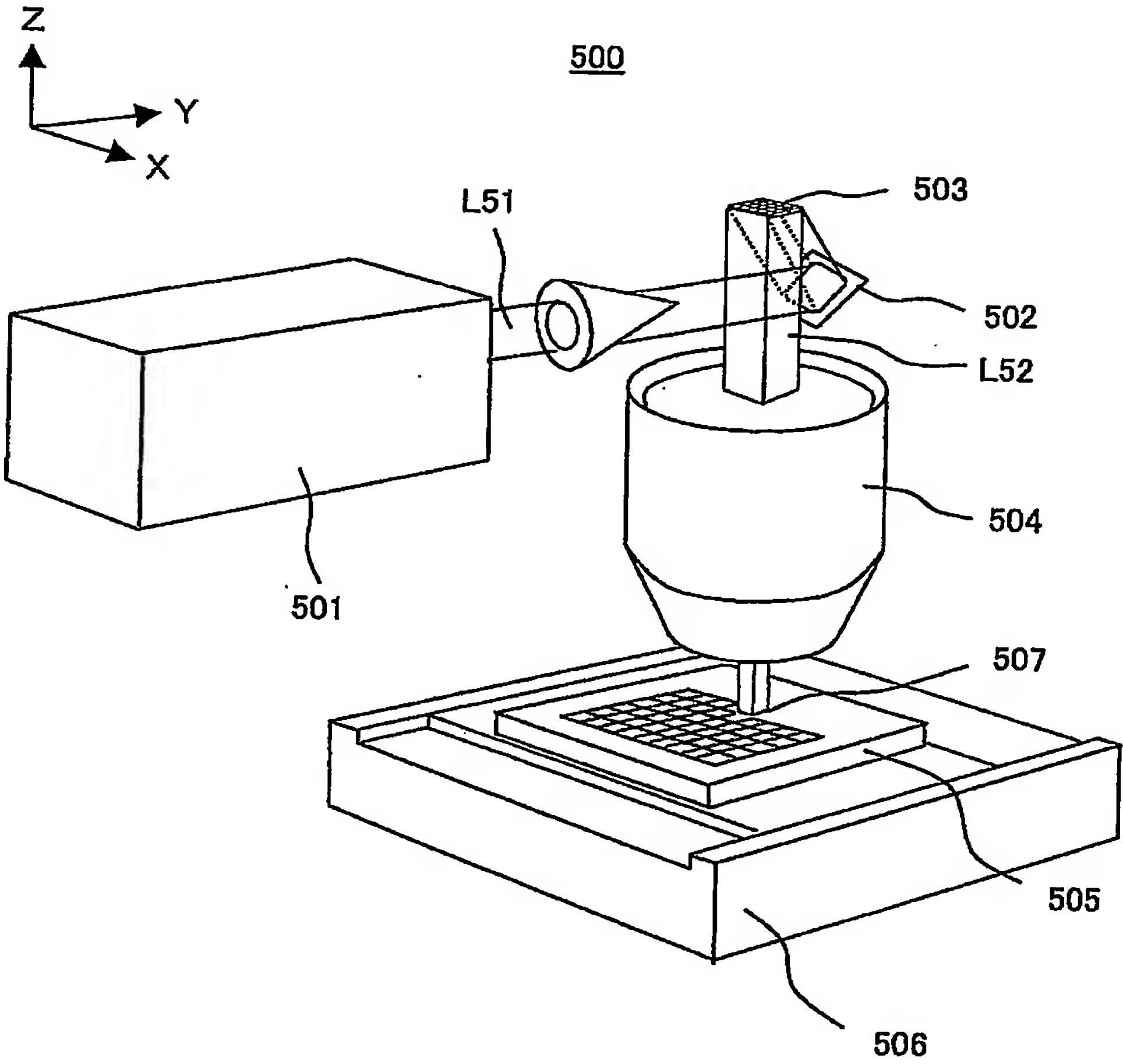
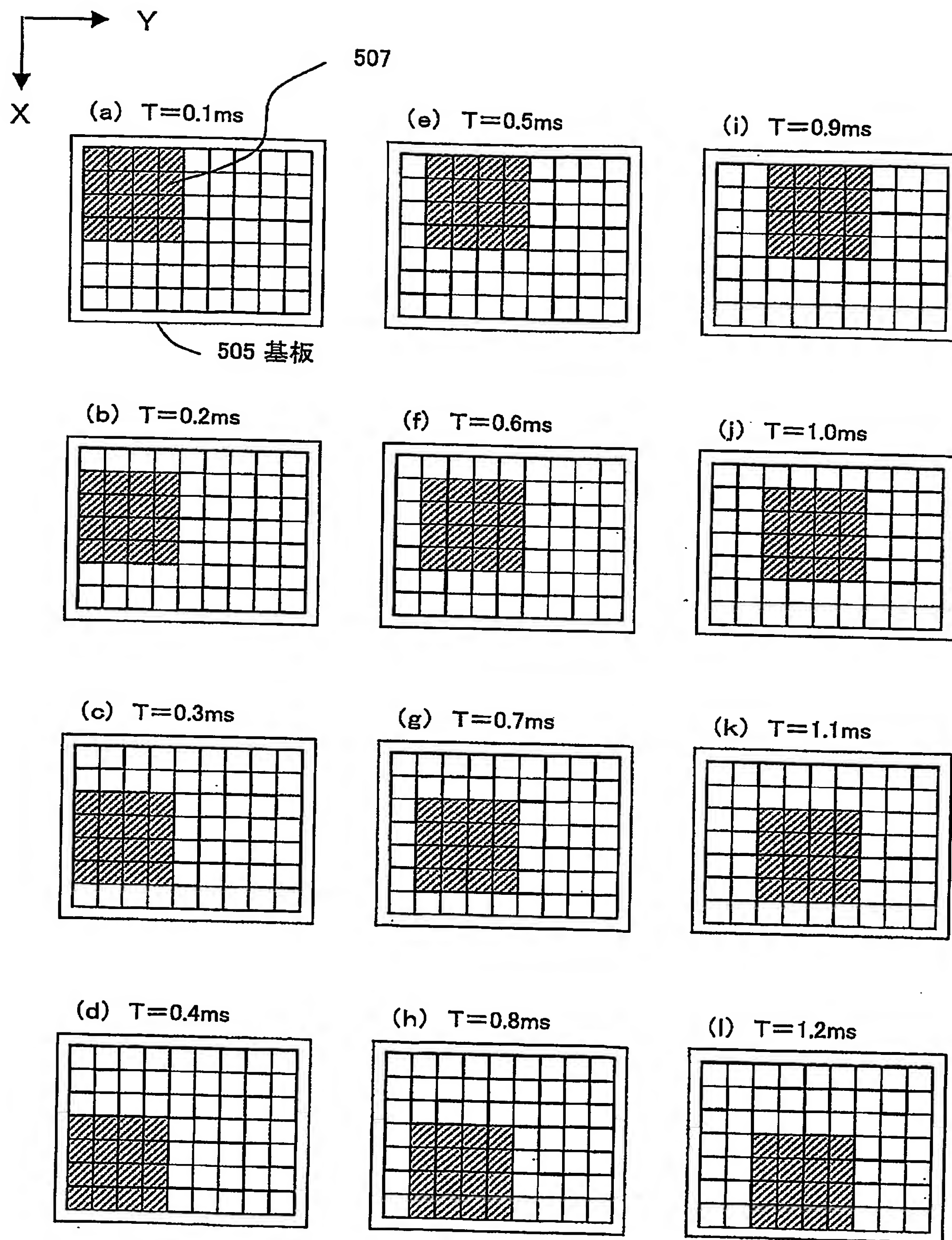


图 25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2003-332221 A (Dainippon Screen Mfg. Co., Ltd.), 21 November, 2003 (21.11.03), Claims; Par. Nos. [0021], [0028] to [0036], [0047], [0048]; Figs. 2 to 11 & EP 1363166 A2 & CN 1459662 A & US 2003/0214644 A1 & KR 4010084 A	1-7, 10, 16-18, 21, 23, 24, 28 8, 9, 11-15
P, Y		
X	JP 2003-15309 A (Pentax Kabushiki Kaisha), 17 January, 2003 (17.01.03), Claims; Par. Nos. [0028] to [0041]; Figs. 4 to 10 & US 2003/0001798 A1 & DE 10228994 A1	7, 10, 16 8, 9, 11-15
Y		

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 August, 2004 (24.08.04)Date of mailing of the international search report
07 September, 2004 (07.09.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005134

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2002/041196 A1 (Ball Semiconductor Inc.), 23 May, 2002 (23.05.02), Claims; page 4, line 1 to page 9, line 30;	1, 2, 4-7, 10, 16-18, 21, 23-28
Y	Figs. 2 to 11 & JP 2004-56100 A & JP 2004-514280 A & CN 1468406 A	8, 9, 11-15
Y	JP 2002-520837 A (Saima Inc.), 09 July, 2002 (09.07.02), Claims; Par. Nos. [0002], [0009], [0017]; Figs. 1, 10 & WO 00/03284 A1 & AU 4827099 A & EP 1095304 A1 & US 6229639 B1 & KR 1053366 A	8, 9, 11-15
A	JP 2001-133893 A (Noritsu Koki Co., Ltd.), 18 May, 2001 (18.05.01), Full text; all drawings & EP 1098216 A2 & CN 1295304 A & US 6486938 B1	1-28
A	WO 97/43770 A1 (The Regents of the University of California), 20 November, 1997 (20.11.97), Full text; all drawings & US 5691541 A	1-28
A	JP 62-21220 A (Canon Inc.), 29 January, 1987 (29.01.87), Full text; all drawings (Family: none)	1-28

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2004/005134

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2004年
日本国登録実用新案公報 1994-2004年
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PX	JP 2003-332221 A (大日本スクリーン製造株式会社) 2003. 11. 21, 特許請求の範囲, 段落0021, 0028-0036, 0047, 0048, 図2-11&EP 1363166 A2&CN 1459662 A&US 2003/0214644 A1&KR 4010084 A	1-7, 10, 16-18, 21, 23, 24, 28
PY		8, 9, 11-15
X	JP 2003-15309 A (ペンタックス株式会社) 2003. 01. 17, 特許請求の範囲, 段落0028-0041, 図4	7, 10, 16

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
24. 08. 2004

国際調査報告の発送日
07. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
新井 重雄

2M 8605

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	— 10 & US 2003/0001798 A1 & DE 1022 8994 A1	8, 9, 11 — 15
X	WO 2002/041196 A1 (Ball Semiconductor Inc.) 2002. 05. 23, 特許請求の範囲, 第4頁第1行—第9頁第30行, 図2-11 & JP 2004-56100 A & JP 2004-514280 A & CN 1468406 A	1, 2, 4— 7, 10, 1 6—18, 2 1, 23—2 8
Y		8, 9, 11 — 15
Y	JP 2002-520837 A (サイマー, インコーポレイテッド) 2002. 07. 09, 特許請求の範囲, 段落0002, 0009, 0017, 図1, 10 & WO 00/03284 A1 & AU 4827099 A & EP 1095304 A1 & US 6229639 B1 & KR 1053366 A	8, 9, 11 — 15
A	JP 2001-133893 A (ノーリツ鋼機株式会社) 2001. 05. 18, 全文, 全図 & EP 1098216 A2 & CN 1295304 A & US 6486938 B1	1—28
A	WO 97/43770 A1 (The Regents of the University of California) 1997. 11. 20, 全文, 全図 & US 5691541 A	1—28
A	JP 62-21220 A (キヤノン株式会社) 1987. 01. 29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1—28